



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
PERNAMBUCO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO AMBIENTAL**

**FELIPE PINTO GUIMARÃES**

**PROPOSIÇÃO DE UM ÍNDICE PARA AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE  
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS.**

**Recife, 2019**

**FELIPE PINTO GUIMARÃES**

**ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA E PROPOSIÇÃO DE ÍNDICE COMO  
FERRAMENTAS NA AVALIAÇÃO DE PROJETO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS  
DEGRADADAS.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, para qualificação como requisito para obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

Linha de Pesquisa 2

Prof. Dr. José Antonio Aleixo da Silva  
Orientador

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Marília Regina Costa Castro Lyra  
Coorientadora

Prof Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira  
Coorientador

**Recife, 2019**

G963p      Guimarães, Felipe Pinto.  
Proposição de um índice para avaliação de projetos de recuperação de áreas degradadas. / Felipe Pinto Guimarães. – Recife, PE: O autor, 2019.  
86 f.: il., color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. José Antônio Aleixo da Silva.  
Co-orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marília Regina Costa Castro Lyra.

Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, Campus Recife, Coordenação de Pós-Graduação - Mestrado Profissional em Gestão Ambiental, 2019.

Inclui referências.

1. Degradação Ambiental. 2. Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD. 3. Gestão Ambiental. I. Silva, José Antônio Aleixo da (Orientador). II. Lyra, Marília Regina Costa Castro de (Co-orientadora). III. Título.

363.700981      CDD (22 Ed.)

**FELIPE PINTO GUIMARÃES**

**ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA E PROPOSIÇÃO DE ÍNDICE COMO  
FERRAMENTAS NA AVALIAÇÃO DE PROJETO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS  
DEGRADADAS.**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco para qualificação como parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental.

Data da defesa: 24 / 09 / 2019

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. José Antonio Aleixo da Silva  
Orientador - UFRPE

Prof<sup>a</sup>. Dra. Marília Regina Costa Castro Lyra  
Coorientadora – IFPE

Prof<sup>a</sup>. Dra. Rejane Jurema Mansur Custódio Nogueira  
Examinador Interno - IFPE

Prof<sup>a</sup>. Dra. Rute Berger  
Examinador Externo – UFRPE

## **APRESENTAÇÃO**

Felipe Pinto Guimarães, Engenheiro Florestal, graduado pela Universidade Federal de Viçosa (2007) e especialista em Gestão Florestal pela Universidade Federal do Paraná (2014) e em Recuperação de Áreas Degradadas, pela Universidade Federal de Viçosa (2016).

Profissionalmente, já exerceu o cargo de analista ambiental da Agência Estadual de Meio Ambiente, CPRH (2009), tendo atuado no licenciamento ambiental de atividades efetivas ou potencialmente poluidoras ou causadoras de degradação ambiental relacionado com a implantação de atividades agropecuárias, de mineração e de assentamentos rurais.

Em 2011, passou a exercer o cargo de analista ambiental pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), tendo atuado até 2014, na Sede do Ibama em Brasília, DF, na implementação de políticas públicas com a implantação do Cadastro Ambiental Rural.

Em 2014, foi removido, a pedido, para Superintendência do Ibama no estado de Pernambuco (SUPES/PE), estando atualmente lotado no Núcleo de Biodiversidade e Floresta (NUBIO), atuando, dentre outros, como ponto focal do Ibama nas questões relacionadas à implantação do Sistema Nacional de Controle da Origem dos Produtos Florestais (SINAFLOR) no estado de Pernambuco, apoio a ações do Comitê Especializado de Recuperação Ambiental instituído pela Sede e análise, vistoria e/ou acompanhamento de processos de recuperação de dano ambiental em decorrência de infração administrativa na SUPES/PE.

**À minha filha Esther**

**Minha enteada Érika**

**Minha esposa Talita**

**Meus pais Guilherme e Marta**

**Meus irmãos Gabriel e Ana Luísa**

**Sem vocês eu não seria nada.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, especialmente:

Ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) pela oportunidade conferida para desenvolver este trabalho.

A todos os que fazem o Mestrado Profissional em Gestão Ambiental do IFPE, professores, colaboradores e colegas de turma, pela convivência e amizade construída durante o caminho percorrido.

Ao Prof. Dr. José Antônio Aleixo da Silva, meu orientador, que contribuiu sobremaneira para a execução bem-sucedida deste trabalho, sobretudo com seus ensinamentos, sugestões e colocações pertinentes em relação ao trabalho.

Aos co-orientadores Prof<sup>a</sup>. Dra. Marília Regina Costa Castro Lyra e Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira cujas participações e contribuições viabilizaram o bom desenvolvimento do trabalho.

À Prof<sup>a</sup>. Dra. Rejane Jurema Mansur Custódio Nogueira e à Prof<sup>a</sup>. Dra. Rute Berger que em meio a tantas atribuições, aceitaram examinar o trabalho, contribuindo com a qualidade e relevância do trabalho desenvolvido.

Aos colegas do Ibama, em especial aos colegas de trabalho lotados no do Núcleo de Flora da Superintendência do Ibama em Pernambuco, pela experiência e apoio profissional, amizade e acima de tudo aprendizado, elementos fundamentais que inspiraram a realização deste trabalho.

Ao Engenheiro Florestal Dario Morales, responsável técnico pela execução do projeto avaliado, bem como a seus colaboradores, pela compreensão acerca do trabalho realizado e auxílio sobretudo na coleta de dados, a todos meus sinceros agradecimentos.

Ao meu Amor Talita Cibely da Costa, pela amizade, incentivos, apoio, compreensão e por cuidar tão bem de mim e das crianças.

A Deus pela sustentação espiritual e pela luz no fim do túnel, quando tudo parecia perdido.

**"Um meio ou uma desculpa**

**Não conheço ninguém que conseguiu realizar seu sonho, sem sacrificar feriados e domingos pelo menos uma centena de vezes. (...)**

**O sucesso é construído à noite.**

**Durante o dia você faz o que todos fazem.**

**Mas, para obter um resultado diferente da maioria, você tem que ser especial.**

**Se fizer igual a todo mundo, obterá os mesmos resultados.**

**Não se compare à maioria, pois infelizmente ela não é modelo de sucesso.**

**Se você quiser atingir uma meta especial, terá que estudar no horário em que os outros estão tomando chope com batata frita.**

**Terá de planejar, enquanto os outros permanecem à frente da televisão.**

**Terá de trabalhar enquanto os outros tomam sol à beira da piscina.**

**A realização de um sonho depende de dedicação.**

**Há muita gente que espera que o sonho se realize por mágica, mas toda mágica é ilusão, e a ilusão não tira ninguém de onde está.**

**Na verdade a ilusão é combustível dos perdedores, pois:**

**Quem quer fazer alguma coisa encontra um meio.**

**Quem não quer fazer nada encontra uma desculpa."**

**Roberto Shinyashiki**



## RESUMO

Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRADs) são importantes iniciativas dentro da condução de processos de reparação ambiental decorrentes da apuração de infrações cometidas em razão de supressão ou intervenção da vegetação realizada em desacordo com a lei. No entanto é comum apresentarem baixa efetividade, em razão da falta de bases técnico-científicas na fase de elaboração e execução, associada à falta de manutenção pós-plantio. Visando identificar critérios para análise, acompanhamento e monitoramento de PRADs, buscou-se, por meio da utilização de parâmetros técnicos pré-estabelecidos que descreviam se a execução do PRAD estava produzindo resultado adequado, aferir o grau e a efetividade de um PRAD em execução, avaliado em duas épocas distintas, situado em um Brejo de Altitude, no município de Belo Jardim, PE. Foram empregadas diversas ações orientadas segundo a pirâmide de informações proposta por Hammond *et al.* (1995) para organizar os dados coletados e avaliar as informações e os resultados obtidos acerca do PRAD em execução, quais sejam: i) consolidação dos dados primários em uma tabela de composição florística que possibilitou a constatação de utilização de espécies cujos fatores ecológicos são de grande relevância na recuperação de áreas degradadas e em gráficos de resumo estatístico das variáveis coletadas na avaliação do PRAD que conferiu informações importantes acerca da distribuição das observações em cada categoria; ii) análise dos dados, mediante emprego da análise de correspondência, que permitiu identificar a existência de relação entre os indivíduos amostrados das espécies florestais plantadas na fase de implantação florestal e as ações de manejo silvicultural executadas na fase de manutenção florestal bem como evidenciar as principais relações que regem o estabelecimento da cobertura arbustivo-arbórea em formação baseadas no comportamento médio um grupo formado pela maioria das observações com as variáveis categóricas que indicam bom desenvolvimento vegetativo e matocompetição considerada boa, ressaltando o indicativo de bom andamento da execução do PRAD; e iii) determinação dos coeficientes de rendimento ambiental (CRA) e índice de avaliação de projetos de recuperação de áreas degradadas (IAPRAD), que convalidaram a análise de correspondência, ao apresentar resultados satisfatórios em termos de desenvolvimento vegetativo e da matocompetição com pequenas diferenças em termos de desenvolvimento vegetativo e de matocompetição para as duas avaliações realizadas, mantendo, contudo, o status aferido de que o PRAD está sendo bem conduzido e está apresentando resultados considerados adequados.

**Palavras chave:** avaliação de PRADs, análise de correspondência, CRA, IAPRAD

## ABSTRACT

Projects of Recovery Degraded Area (PRDAs) are important initiatives within the conduction of environmental damage repair resulting from the investigation of infractions committed due to the suppression or intervention of vegetation carried out against the law. However, it is common those PRDAs presents low efficacy, due to the lack of technical-scientific bases in the PRDA elaboration and execution associated with the bad maintenance post-planting. Aiming to identify criteria for analysis and monitoring of PRDAs, we sought, through the use of pre-established technical parameters that described if the execution of the PRDA was producing adequate results, evaluate the degree and the effectiveness of PRDA execution, evaluated at two different times, located in an Altitude Wetland, in the city of Belo Jardim, PE. Several actions oriented according to the information pyramid proposed by Hammond et al. (1995) were used to organize the collected data and to evaluate the information and results obtained about the PRDA in execution, namely: i) consolidation of the primary data in a table of floristic composition that made it possible to verify the use of species whose ecological factors are important in the process of recovery degraded areas and in graph of statistical summary of the variables collected in the PRDA evaluation that provided important information about the distribution of observations in each category; ii) data analysis, through the use of correspondence analysis, which allow to identify the existence of relationship between the sampled individuals of the forest species planted and the silvicultural management actions performed in the forest maintenance, as well as highlighting the main relationships that conduct the establishment of vegetal native cover in formation based on the average behavior of a group formed by the most observations with categorical variables that indicate good vegetative development and good control of weed competition, highlighting the indicative of good progress of PRDA execution; and iii) determination of environmental yield coefficients (EYC) and index of evaluation of project of recovery degraded area (IEPRDA), which validated the correspondence analysis, presenting satisfactory results in terms of vegetative development and good control of weed competition with small differences in terms of development vegetation and good control of weed competition between the two evaluations carried out, but maintaining the prognosis that the PRDA is being well conducted and presenting results considered adequate.

**Keywords:** PRDA monitoring, correspondence analysis, EYC, IEPRDA

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b>	Pirâmide de informações .....	26
<b>Figura 2</b>	Condições oro-climáticas de brejo de altitude .....	28
<b>Figura 3</b>	Localização dos principais brejos de altitude no Estado de Pernambuco.....	29
<b>Figura 4</b>	Localização da área de estudo .....	30
<b>Figura 5</b>	Comportamento da chuva e da temperatura calculados a partir de uma série de dados de 30 anos observados, do município de Belo Jardim ...	31
<b>Figura 6</b>	Localização, em relação ao imóvel rural, da área de implantação do PRAD .....	32
<b>Figura 7</b>	Localização das unidades de amostra utilizados para a coleta dos dados .....	34
<b>Figura 8</b>	Distribuição das observações nas categorias de cada variável em que foram coletados dados, nas avaliações do PRAD realizadas em a) abril de 2016 e b) em março de 2018 .....	48
<b>Figura 9</b>	Autovalores e porcentagem acumulada da variância explicada para: a) a avaliação do PRAD ocorrida em abril de 2016 e b) a avaliação do PRAD ocorrida em março de 2018.....	62
<b>Figura 10</b>	Representação gráfica que expressa contrastes formados pelas observações (a) e pelas variáveis categóricas (b) que mais contribuem para a variabilidade do primeiro eixo e pelas das observações (c) e variáveis categóricas (d) que mais contribuem para a variabilidade do segundo eixo, referente a avaliação do PRAD realizada em abril de 2016.....	65
<b>Figura 11</b>	Representação gráfica que expressa contrastes formados pelas observações (a) e pelas variáveis categóricas (b) que mais contribuem para a variabilidade do primeiro eixo e pelas das observações (c) e variáveis categóricas (d) que mais contribuem para a variabilidade do segundo eixo, referente a avaliação do PRAD realizada em março de 2018 .....	66
<b>Figura 12</b>	Biplot para análise conjunta dos dados referente a avaliação do PRAD realizada em abril de 2016.....	68
<b>Figura 13</b>	Biplot para análise conjunta dos dados referente a avaliação do PRAD realizada em março de 2018.....	69
<b>Figura 14</b>	Situação das unidades amostrais quanto a posição topográfica .....	73

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Exemplo de tabela consolidada alusivo ao registro em planilha eletrônica dos dados coletados em campo .....	36
<b>Tabela 2</b>	Descrição sintética das variáveis e suas respectivas categorias, referente aos dados coletados da avaliação do PRAD, que foram consolidados em planilha eletrônica .....	37
<b>Tabela 3</b>	Modelo de matriz de dados na forma binária (matriz <b>Z</b> ) obtido a partir da tabela consolidada de dados .....	38
<b>Tabela 4</b>	Generalização da forma binária (matriz <b>Z</b> ) dos dados coletados na avaliação do PRAD .....	38
<b>Tabela 5</b>	Matriz de frequência <b>F</b> oriunda da matriz <b>Z</b> .....	40
<b>Tabela 6</b>	Matriz de valoração das variáveis do PRAD avaliadas .....	44
<b>Tabela 7</b>	Relação das espécies identificadas no levantamento amostral realizado para a avaliação do PRAD em execução na Serra do Bituri, PE .....	47
<b>Tabela 8</b>	Perfis, centroide e $D_{X_i^2}$ de linhas calculados para as observações referentes aos dados de avaliação do PRAD coletados em abril de 2016. ....	51
<b>Tabela 9</b>	Perfis, centroide e $D_{X_i^2}$ de colunas calculados para as variáveis categóricas referentes aos dados de avaliação do PRAD coletados em abril de 2016.....	52
<b>Tabela 10</b>	Perfis, centroide e $D_{X_i^2}$ de linhas calculados para as observações referentes aos dados de avaliação do PRAD coletados em março de 2018.....	53
<b>Tabela 11</b>	Perfis, centroide e $D_{X_i^2}$ de colunas calculados para as variáveis categóricas referentes aos dados de avaliação do PRAD coletados em março de 2018.....	54
<b>Tabela 12</b>	Matriz <b>Q</b> para os dados coletados na avaliação do PRAD em execução em abril de 2016.....	57
<b>Tabela 13</b>	Matriz <b>Q</b> para os dados coletados na avaliação do PRAD em execução em março de 2018.....	58
<b>Tabela 14</b>	Valores singulares da decomposição da matriz <b>Q</b> para os dados coletados na avaliação do PRAD em execução em abril de 2016 e em março de 2018.....	61
<b>Tabela 15</b>	CRA e IAPRAD da avaliação do PRAD realizada em abril de 2016.....	74
<b>Tabela 16</b>	CRA e IAPRAD da avaliação do PRAD realizada em março de 2018.....	75
<b>Tabela 17</b>	Aplicação do IAPRAD para o cálculo do erro amostral considerando o número de amostras recomendado pela literatura (n=5) e o nível de probabilidade igual a 90% bem como do número ótimo de amostras considerando o erro amostral de 20% .....	77

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CF/88	Constituição Federal de 1988
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
CRA	Coeficiente de Rendimento Ambiental
$D_{x_i^2}$	Distância de qui-quadrado
DAP	Diâmetro à altura do peito
DITEC	Divisão Técnico Ambiental
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Ibama	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IN	Instrução Normativa
IAPRAD	Índice de Avaliação de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas
ISO	International Organization for Standardization, (Organização Internacional para Padronização)
MAPBIOMAS	Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil
NUBIO/ NUFLO- RA/ NBFLO	Núcleo de Biodiversidade e Florestas
P.T.	Parecer Técnico
PE	Pernambuco
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PRAD	Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas
RADAMBRASIL	Projeto Radar da Amazônia
RIMA	Relatório de Impacto ao Meio Ambiente
Sinaflor	Sistema Nacional de Controle da Origem dos Produtos Florestais
Sisnama	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SUPES/PE	Superintendência do Ibama no Estado de Pernambuco
TAC	Termo de Ajuste de Conduta

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b>	15
1.1	TEMA E CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	15
1.2	SITUAÇÃO PROBLEMA.....	16
1.3	JUSTIFICATIVA.....	17
2	<b>OBJETIVOS</b> .....	19
2.1	OBJETIVO GERAL.....	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
3	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	20
3.1	PROJETO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS .....	20
3.2	ACOMPANHAMENTO E MONITORAMENTO DE PRAD .....	23
3.3	AVALIAÇÃO DE PRAD .....	26
3.4	BREJOS DE ALTITUDE .....	29
4	<b>METODOLOGIA</b> .....	31
4.1	ÁREA DE ESTUDO .....	31
4.2	EXIGIBILIDADE DO PRAD .....	32
4.3	ACOMPANHAMENTO E MONITORAMENTO .....	34
4.3.1	Coleta dos dados .....	34
4.3.2	Unidade amostral .....	34
4.3.3	Parâmetros técnicos para a coleta dos dados .....	35
4.4	AVALIAÇÃO DO PRAD .....	36
4.4.1	Dados primários .....	36
4.4.2	Análise dos dados .....	37
4.4.2.1	Tabela de dados para análise de correspondência .....	37
4.4.2.2	Metodologia para análise de correspondência .....	39
4.4.3	Aplicação dos Indicadores e do Índice .....	44
5	<b>RESULTADOS ESPERADOS</b> .....	47
5.1	DADOS PRIMÁRIOS .....	47
5.2	ANÁLISE DOS DADOS .....	49
5.3	INDICADORES E ÍNDICES .....	74
6	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	78
7	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	79

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização racional dos recursos naturais se constitui, na atualidade, em um dos maiores desafios a ser enfrentado pela sociedade contemporânea, isto porque o avanço de atividades antrópicas, grande fonte de degradação ambiental, dificulta a racionalização e a sustentabilidade de recursos ambientais.

As florestas e demais formas de vegetação nativa são alvos constantes de degradação ambiental. O processo de ocupação do Brasil caracterizado pela falta de planejamento e os modelos de produção agrícola e industrial, instalados e intensificados em tempos recentes, são os grandes responsáveis pela fragmentação da cobertura florestal nativa, nos diferentes biomas.

### 1.1 TEMA E CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

No estado de Pernambuco, dados do RADAMBRASIL levantados e disponibilizados pelo IBGE (2015), indicavam que cerca de 59,2% da área do Estado era coberta por vegetação nativa. Por consequência, o Projeto MAPBIOMAS, que contém uma série de mapeamentos anuais da cobertura e uso do solo desde 1985 até a 2017, convalidou o levantamento feito pelo RADAMBRASIL no mapeamento para o ano de 1985, e revelou que, em 2017, a cobertura de vegetação nativa havia reduzido para 47,6% da área do Estado (Figura 1).

Estratégias e instrumentos que tenham por objetivo a conservação, recuperação e desenvolvimento sustentável na vegetação tanto do Mata Atlântica (LINO; BECHARA, 2002) quanto do Bioma Caatinga (RIEGELHAUPT; PAREYN, 2010), no estado de Pernambuco, fazem-se necessários, uma vez que a cobertura florestal foi e continua sendo reduzida a fragmentos isolados.

Há uma série de iniciativas voltadas para proteger os remanescentes florestais e impedir a continuidade do desmatamento e da degradação da cobertura florestal, tais como: (i) espaços territoriais legalmente protegidos; (ii) lista de fauna e flora endêmicas e ameaçadas de extinção; (iii) leis específicas de utilização e proteção da vegetação (Lei 12.651/2012 e Lei 11.428/2006); (iv) mecanismos de ordenamento territorial e zoneamento ambiental; (v) licenciamento ambiental e fiscalização; e (vi) recuperação de áreas degradadas (LINO; BECHARA, 2002).

Dos instrumentos e finalidades mencionados acima, a recuperação de áreas degradadas se coloca ainda como uma alternativa à ampliação e à conectividade entre os remanescentes de vegetação nativa. Para tanto, o poder público, a quem a Constituição Federal incumbiu a tarefa de assegurar a efetividade do meio ambiente ecologicamente equilibrado, tem fomentado a

exigibilidade de Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) na tarefa de impor aos transgressores a reparação de danos ambientais.

## 1.2 SITUAÇÃO PROBLEMA

As atividades antrópicas respondem por uma parcela considerável do passivo ambiental correspondente ao desflorestamento e à degradação da cobertura vegetal nativa no estado de Pernambuco.

De acordo com o relatório da Superintendência do Ibama no estado de Pernambuco, que reúne informações sobre os macroprocessos finalísticos, entre os anos de 2012 a 2014, foram emitidos 188 autos de infração por crimes/infrações ambientais cometidas contra a flora, em todo o Estado, correspondendo a uma área em que ocorreu degradação da cobertura vegetal nativa de cerca de 1550 hectares (DITEC/PE, 2014).

Sobre esse passivo ambiental, cuja responsabilização pode se dar, de forma alternada ou cumulativamente, na esfera judicial, cível e administrativa, a depender das circunstâncias em relação aos dispositivos legais ligados à proteção da vegetação, uma vez que constatada a degradação ambiental da cobertura vegetal nativa, cuja supressão ou intervenção sobre a vegetação tenha se dado em desacordo com a lei, exige-se dos responsáveis a reparação de danos ao meio ambiente.

A justiça, em suas diversas esferas, o Ministério Público e os Órgãos competentes do Sisnama fomentam a recuperação de áreas degradadas em ações de reparação do dano ambiental, por intermédio da cobrança de apresentação de PRAD a ser executado pelos responsáveis pelo cometimento da degradação ambiental.

A recuperação ambiental de áreas degradadas, como medida para cessar e corrigir os danos causados ao meio ambiente pela degradação ambiental requer o emprego de solução técnica geralmente consignado em um PRAD.

Autores como Silva; Resende (2010) e Brancalion; Gandolfi; Rodrigues (2015) ilustram tecnologias e metodologias experimentadas com êxito na recuperação de áreas degradadas. Entretanto, muitos PRAD's exigidos em virtude da reparação de dano ambiental pelo órgão federal competente do Sisnama no estado de Pernambuco, quando implantados, apresentam baixa eficácia.

A principal razão, para os resultados insatisfatórios observados, conforme aponta a experiência prática, diz respeito à falta de bases técnico-científicas nas fases de elaboração e execução de PRAD's associado à falta ou à má condução da manutenção pós-plantio.



Conforme se verifica, tais fatos impactam de forma negativa na aferição do grau e da efetividade da recuperação de áreas degradadas de PRAD's que estão em execução e que estão sendo acompanhados por órgão federal competente do Sisnama no estado de Pernambuco.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Projetos de recuperação de áreas degradadas (PRADs) são importantes iniciativas dentro de processos de condução da reparação ambiental obrigatória, decorrentes da apuração de infrações cometidas em razão de supressão ou de intervenção realizadas sobre a vegetação em desacordo com a lei, no âmbito do órgão competente do Sisnama no Estado de Pernambuco.

Nesse sentido, cabe ao setor técnico, notadamente o responsável por conduzir, no âmbito administrativo, as etapas processuais no que diz respeito a reparação de danos ambientais por ilícitos cometidos contra a flora, a orientação quanto a melhor forma de conduzir a elaboração e a execução de PRAD's além de realizar seu acompanhamento e o monitoramento das fases de implantação e de manutenção florestal.

A finalidade desse trabalho mencionado acima consiste em assegurar que as medidas necessárias para recuperação, recomposição e/ou compensação da vegetação nativa sejam adotadas, bem como comprovar que a área foi recuperada ou que se encontra em vias de recuperação, visando desonerar o infrator do vínculo com a reparação ambiental obrigatória. Conforme se verifica, tal situação justifica a necessidade de se estabelecer parâmetros para a elaboração e análise técnica dos PRAD's bem como para seu posterior acompanhamento e monitoramento.

Dessa forma, estudar áreas objeto de reparação ambiental, buscando evidenciar fatores que regem o processo de recuperação ambiental, se coloca como uma alternativa na busca de se identificar e/ou estabelecer critérios claros para orientação, análise técnica, acompanhamento e monitoramento de PRAD's.

Assim, pretende-se, empregando uma metodologia que utilize ferramentas para fazer a análise exploratória de dados, bem como a proposição de um índice que permita comparar os valores aferidos acerca do grau e da efetividade do PRAD em execução, estudar uma área que se encontre em processo de recuperação ambiental mediante um PRAD que se encontra em execução e que está sendo acompanhado pelo Ibama, localizada na propriedade situada em um Brejo de Altitude, no município de Belo Jardim, Estado de Pernambuco.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Aferir o grau e a efetividade de um PRAD em execução, avaliado em duas épocas distintas, situado em um Brejo de Altitude, no município de Belo Jardim, Estado de Pernambuco, mediante o emprego de representações gráficas e tabulares, que resumam os dados e possibilitem a análise conjunta das variáveis e observações do conjunto de dados, e de indicadores e índice que sinalize o status e permitam a comparação dos resultados obtidos.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i) verificar, do ponto de vista estatístico, indícios da recuperação ambiental utilizando informações de variáveis qualitativas coletadas para subsidiar a avaliação da execução de um PRAD em acompanhamento, analisando dados obtidos em duas épocas distintas;
- ii) descrever, por meio de gráficos de dispersão, os principais fatores porventura identificados que regem as relações existentes entre o estabelecimento da cobertura arbustivo-arbórea em formação e as variáveis qualitativas utilizadas para avaliar a implantação e manutenção do PRAD em acompanhamento, analisando dados obtidos em duas épocas distintas;
- iii) comparar os resultados obtidos da análise estatística e dos gráficos de dispersão obtidos para duas épocas distintas, com vistas a auxiliar na inferência sobre o andamento da execução do PRAD e indicar possíveis critérios ou parâmetros que possam ser adotados para auxiliar no alcance dos objetivos propostos do PRAD em execução;
- iv) definir indicadores capazes de expressar o estado do projeto conforme as variáveis avaliadas e propor de um índice que possa ser capaz de expressar o grau e a efetividade do PRAD em execução.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

#### 3.1 PROJETO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Projeto (ou plano) de recuperação de áreas degradadas é um documento que reúne diretrizes técnicas que orientam a execução e o acompanhamento e manutenção da recuperação ambiental de áreas degradadas (BACK, 2017).

A Constituição Federal de 1988, ao garantir, no art. 225, “que todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado” definiu, no § 2º, que “aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei” (BRASIL, 1988).

O comando constitucional referente à recuperação do meio ambiente degradado havia sido contemplado pela Lei nº 6.938, de 1981, que trata sobre a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), ao dispor, no art. 2º, que a PNMA tem por objetivo a “preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida” estabelecendo, para tanto, como um de seus princípios, a recuperação de áreas degradadas (BRASIL, 1981).

Este princípio da recuperação de áreas degradadas, por sua vez, foi regulamentado pelo Decreto nº 97.632, de 1989, que instituiu inicialmente o PRAD ao enunciar que, “os empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais deverão, quando da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental - EIA e do Relatório do Impacto Ambiental - RIMA, submeter à aprovação do órgão ambiental competente, plano de recuperação de área degradada” (BRASIL, 1989).

O uso de planos ou projetos de recuperação de áreas degradadas não se restringiu unicamente a mitigar problemas ambientais oriundos da exploração de recursos minerais.

Almeida (2016) estipulou uma cronologia que leva em conta o avanço a respeito da aplicação de PRAD no contexto de recuperação ambiental. Inicialmente, o emprego de PRAD ocorreu nas áreas degradadas pelas empresas mineradoras. Posteriormente, passou a incorporar estudos e relatórios de impacto ambiental, como um programa complementar, dentro de processos de licenciamento ambiental e, por fim, passou também a fazer parte da reparação de danos ao meio ambiente integrando ajustes de conduta ambiental, em Termos de Ajuste de Condutas (TAC) firmados com o Ministério Público.

Back (2017) relaciona três possibilidades em que se exige PRAD, por força de lei: i) quando ocorre crime/infração ambiental contra a flora; ii) nas situações de compensação ambiental em que se verifica perda de habitat e de recursos naturais; e iii) nas ações preventiva

ou corretiva, no âmbito do licenciamento ambiental de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras e causadoras de degradação ambiental.

De todas as situações mencionadas que demandam o uso de PRAD para trabalhar a recuperação ambiental de áreas degradadas, a reparação de danos ao meio ambiente, mediante ajuste de conduta, é uma que tem apresentado ganhos significativos de escala, em virtude da imposição da legislação brasileira.

Neste sentido, nos casos de condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente, cabe destacar que se constitui, como um dos objetivos da PNMA, de acordo com a Lei 6.938, de 1981, a imposição, sobre o transgressor, da obrigação de proceder a reparação dos danos causados ao meio ambiente (BRASIL, 1981).

Da observância do art. 14 da lei 6.938, de 1981 entende-se por reparação dos danos causados ao meio ambiente como sendo a adoção de medidas necessárias à correção dos inconvenientes e danos causados pela degradação da qualidade ambiental.

Do ponto de vista legal, o termo degradação tem sido utilizado em múltiplos contextos para representar danos ambientais que resultem em alteração adversa das características do meio ambiente. No Brasil, diversos autores associam o termo degradação a algum grau de perda de produtividade natural dos recursos devido a intervenções antrópicas no ambiente (ARAÚJO *et al.*, 2013; CUNHA *et al.*, 2015).

Boa parte desse passivo ambiental existente encontra-se associado à violação de dispositivos legais ligados à proteção da vegetação, cuja responsabilização pode se dar, de forma alternada ou cumulativamente, na esfera judicial, cível e administrativa. De toda forma, exige-se dos responsáveis a reparação de danos ao meio ambiente cuja supressão ou intervenção sobre a vegetação que tenha se dado em desacordo com a Lei.

O poder público, a quem a Constituição Federal incumbiu a tarefa de assegurar a efetividade do meio ambiente ecologicamente equilibrado, tem fomentado a exigibilidade de PRAD na tarefa de impor aos transgressores a reparação de danos ambientais.

Para fazer cumprir a legislação concernente aos procedimentos relativos a reparação de danos ambientais, sobreveio no arcabouço normativo a Instrução Normativa (IN) Ibama nº 04, de 2011. Esta IN é um dispositivo norteador da elaboração de PRAD. Nesse contexto, determina, dentre outros, que “o PRAD deverá reunir informações, diagnósticos, levantamentos e estudos que permitam a avaliação da degradação ou alteração e a consequente definição de medidas adequadas à recuperação da área” (IBAMA, 2011).

De acordo com a IN Ibama nº 04/11, com relação à definição de medidas adequadas à recuperação da área, o PRAD deverá: (i) informar métodos e técnicas que devem ser

empregados em função das peculiaridades da área; (ii) propor medidas que visem assegurar a proteção das áreas degradadas de fatores que visem impedir o processo de recuperação; (iii) propor medidas de proteção e conservação do solo e da água; e (iv) apresentar embasamento teórico que contemple as variáveis ambientais e seu funcionamento similar aos ecossistemas da região.

Para contemplar as medidas adequadas à recuperação da área, a IN Ibama nº 04, de 2011, indica em seu anexo, Termos de Referência para elaboração de um PRAD. Almeida (2016) menciona a existência de vários roteiros ou termos de referência para elaboração de PRAD e recomendando, inclusive, um roteiro mais geral, que deve contemplar os seguintes itens: (i) Introdução; (ii) Objetivos; (iii) Metas; (iv) Metodologia; (v) Sistema de monitoramento e avaliação; (vi) Cronograma de execução; (vii) Recursos materiais, humanos e financeiros; e (viii) Anexos.

A recuperação da área tem como definição a “restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original”, conforme art. 2º, inciso XIII, da Lei nº. 9.985, de 18 de julho de 2000 (BRASIL, 2000). De acordo com Cunha; Lopes; Sousa (2017) a recuperação de áreas degradadas busca a restituição da função ecológica de uma área em uma situação em que houve o comprometimento da capacidade da área de se regenerar.

A recuperação ambiental pode denotar desde atividades empíricas aplicadas para mitigar impactos ambientais com efeitos negativos advindos de atividades humanas como a aplicação de conhecimentos ecológicos para favorecer a restauração de ecossistemas naturais degradados (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015).

Em uma revisão bibliográfica sobre ações de revegetação na recuperação ambiental no Brasil, Lima *et al.* (2015) identificaram algumas fases que demonstram a evolução de suas ações, sintetizados da seguinte maneira: i) plantio aleatório de árvores, para conter processos erosivos, proteção de recursos hídricos e estéticos; ii) plantio de árvores nativas à luz dos conceitos de sucessão florestal (espécies pioneiras, clímax inicial e clímax tardia); iii) modelos de restauração florestal com atributos de possuir elevada diversidade e ter interações e funções ecológicas reestabelecidas à semelhança da composição florística e da estrutura da vegetação de remanescentes florestais bem conservados (áreas de referência); e iv) inserção dos conceitos de restauração ecológica associado ao restabelecimento dos processos ecológicos, aos conceitos de ecologia de paisagem e aos aspectos econômicos e sociais.

Na execução de PRAD's é frequente a ocorrência de dificuldades de ordem técnica, gerencial e econômica que, por vezes, inviabilizam o alcance dos objetivos propostos pela

recuperação ambiental. Almeida; Sánchez (2005), afirmam que, em alguns casos, as orientações técnicas descritas no PRAD não são seguidas, em outros, os resultados ficam aquém do esperado e ainda há casos em que a falta de conhecimento técnico se torna impeditivo para a execução de PRAD.

Então, para que os objetivos do PRAD sejam plenamente atingidos, torna-se imperioso realizar o acompanhamento desses projetos, a fim de monitorar a evolução dos fatores bióticos e abióticos ao longo do tempo (LIMA *et al.*, 2015) para o alcance da almejada condição de “não degradação” do ecossistema ou das populações silvestres.

### 3.2 ACOMPANHAMENTO E MONITORAMENTO DE PRAD

O PRAD tem como objetivo principal propor um roteiro sistemático de atividades, ações e operações, especificados tecnicamente e organizados em etapas lógicas, para conduzir a recuperação ambiental de áreas degradadas ou alteradas segundo a explicitação de resultados esperados (ALMEIDA, 2016).

A rápida expansão resultante da execução de um PRAD na recuperação ambiental de áreas degradadas bem como a evolução dos métodos de recuperação ambiental tem estreita relação com o monitoramento desses PRAD.

Neste contexto, a etapa de monitoramento se reveste de grande importância, em razão da necessidade de se repensar a todo momento a recuperação ambiental proposta, em virtude de possíveis declínios, retrocessos, estagnação ou regressão dos resultados obtidos da recuperação ambiental (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015).

O monitoramento pode ser entendido como um processo contínuo pelo qual periodicamente se avalia a execução de um PRAD (ANDRADE; SANCHEZ; ALMEIDA, 2014 e RIGUEIRA; NETO, 2013). Sua finalidade é aferir, por meio de diversas ações, se os objetivos de recuperação ambiental estão sendo alcançados (MONTANDON; CAMELLO, 2015) e, caso contrário, identificar os problemas em que se verifica a necessidade de ações corretivas (VIANI *et al.*, 2016).

Para se trabalhar o aspecto do monitoramento de PRAD's podem ser considerados a existência de dois horizontes temporais importantes: (i) acompanhamento temporal do projeto; e (ii) o acompanhamento a longo prazo do restabelecimento do processo ecológico em determinada área (UEHARA; GANDARA, 2011).

No caso de acompanhamento temporal do projeto, os aspectos importantes a serem trabalhados no monitoramento de PRAD's dizem respeito a utilização de parâmetros técnicos

pré-estabelecidos para diagnosticar se o roteiro sistemático de atividades, ações e operações propostos estão produzindo o resultado adequado (UEHARA; GANDARA, 2011).

Para este horizonte temporal do monitoramento de PRAD que, de acordo com Brancalion; Gandolfi; Rodrigues (2015), coincide com a fase de manutenção da área, o objetivo da recuperação ambiental pode consistir na reabilitação de uma área degradada (RESENDE; PINTO, 2013) ou no retorno de uma estrutura e composição particular da área (FONSECA *et al.*, 2017). O monitoramento, por assim dizer, concentra-se, inicialmente, nas ações de manutenção do PRAD.

Para os PRAD's apresentados por efeito da reparação de danos ambientais, no âmbito de processos administrativos de apuração de infração administrativa ambiental, na esfera federal, a IN Ibama nº 04 de 2011, estipula que o monitoramento é de três anos contados a partir da implantação do PRAD, podendo ser prorrogado por igual período, sendo que o monitoramento é validado mediante apresentação de relatórios periódicos e, ao final da execução do PRAD, por meio de um relatório de avaliação que permita a aferição do grau e da efetividade da recuperação ambiental da área degradada (IBAMA, 2011).

Neste sentido, Brancalion; Gandolfi; Rodrigues (2015) consideram um problema a forma como os órgãos licenciadores e fiscalizadores conduzem o monitoramento, pois o acompanhamento dos resultados da execução do PRAD se restringe à fase inicial da recuperação ambiental.

Back (2017) e Almeida; Sanchez (2005) acompanharam PRAD's que se enquadravam nesta na situação de um horizonte temporal mais curto, por serem projetos que foram concebidos para atenderem a demandas específicas de órgãos licenciadores e fiscalizadores. Neste sentido, ambos os autores ponderaram pela falta de eficácia desejada dos projetos na recuperação ambiental das áreas degradadas, além de ressaltarem a importância do monitoramento, como mecanismo para assegurar a efetividade da recuperação ambiental de áreas degradadas pela execução de um PRAD.

Em se tratando de um PRAD cujos objetivos são baseados em processos ecológicos, necessita-se de uma sistemática diferenciada em termos de monitoramento da recuperação ambiental, que, além de demandar um tempo de acompanhamento maior, requer o foco em uma meta que faça alusão à trajetória que a área vai desenvolver ao longo do tempo (VIANI *et al.*, 2016).

No que diz respeito à realização do monitoramento de processos ecológicos, faz-se referência aos trabalhos de Suganuma; Durigan (2015) e Fonseca *et al.* (2017). O primeiro modelou as mudanças, com o avançar do tempo, de parâmetros de estrutura da floresta, da

riqueza e composição de espécies de árvores e da proporção de grupos funcionais de plantas bem como a estimativa do tempo requerido para que as diferentes variáveis atingissem um nível equivalente ao de ecossistemas de referência. O segundo, por sua vez, por meio de um levantamento florístico, realizou um estudo comparativo do padrão de regeneração de uma área em processo de restauração florestal com uma mata ciliar conservada e utilizada como ecossistema de referência.

Para um melhor aproveitamento da aferição do grau e a efetividade da recuperação ambiental da área degradada, considera-se fundamental um planejamento do monitoramento, prévio inclusive à execução do PRAD. Este planejamento deve ser capaz de refletir os objetivos atinentes à recuperação ambiental conforme explícito no PRAD além de prever recursos, atividades e prazos de execução do monitoramento, necessariamente consignados em um plano (ANDRADE; SANCHEZ; ALMEIDA, 2014).

Brancalion; Gandolfi; Rodrigues (2015), em uma abordagem conceitual para o monitoramento da restauração florestal, definiram duas etapas consideradas essenciais dentro desse processo de planejamento: (i) a etapa de planejamento propriamente dito; e (ii) a etapa de monitoramento.

A fase de planejamento, baseada nos objetivos e resultados esperados definidos para a recuperação ambiental, consiste em estabelecer: (i) a escolha dos descritores, que são medidas que indicam alterações no processo ou variável que caracterize os objetivos ou resultados esperados da recuperação ambiental; (ii) a definição de critérios para interpretação dos possíveis resultados apresentados e esperados para cada descritor; (iii) definição de como será medido cada descritor; (iv) definição das metas, que consiste nos valores sobre os quais se agrupam as medidas dos descritores e que indicarão o sucesso ou não dos descritores; e (v) definição de um cronograma de monitoramento (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015).

Tendo em vista a etapa do planejamento como pressuposto e o objetivo da recuperação ambiental de áreas degradadas orientada para a restauração florestal, alguns autores (ANDRADE; SANCHEZ; ALMEIDA, 2014; BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015; MONTANDON; CAMELLO, 2015; RIGUEIRA; NETO, 2013; VIANI *et al.*, 2016) propuseram protocolos de monitoramento com uma gama de descritores para coleta de dados e informações que sejam de relevância para a constatação da evolução do projeto.

Rigueira; Neto (2013) salientam, de uma maneira geral, que os descritores mais utilizados são focados na estrutura da vegetação (medição de DAP e altura), no número de espécies (levantamento florístico), na ocorrência de espécies animais, nas características físico-químicas do solo, nos processos ecológicos (ciclagem de nutrientes, chuvas de sementes, etc) e



em aspectos da paisagem (conectividade e isolamento).

Em complemento, Viani *et al.* (2016) além de sugerirem descritores na linha da ecologia, conforme Rigueira; Neto (2013), também sugerem descritores de caráter socioeconômico, tais como o envolvimento de parceiros, custos e benefícios econômicos (viabilidade do projeto) e condições de trabalho (evitar a proliferação de projetos com condições inadequadas de mão-de-obra – por exemplo contratação de mão de obra com perspectiva de geração de renda para economia local, incentivos financeiros associados à recuperação, treinamento, etc) e descritores focados na gestão, que sejam capazes de revelar falhas no processo, falta de planejamento, e de documentação dos projetos.

Definido o planejamento, passa-se à fase do monitoramento, que consiste na coleta de dados e avaliação das informações e dos resultados obtidos, possibilitando a tomada de decisão relativos ao ajuste e ações corretivas pelo executor do PRAD além de possibilitar a formação de uma base de conhecimento a respeito do processo de recuperação ambiental objeto do PRAD em execução (ANDRADE; SANCHEZ; ALMEIDA, 2014).

As ações que dizem respeito a etapa de monitoramento ocorrem após a implantação do projeto e implica na coleta de dados e sua interpretação de acordo com os parâmetros pré-estabelecidos e as metas estipuladas e a avaliação do projeto confrontando os resultados obtidos com os resultados esperados e objetivos do projeto (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015).

Os resultados apontados pelo monitoramento vão dar um indicativo do desempenho da estratégia de recuperação ambiental adotada e, a partir daí possibilitar a adequação de métodos, técnicas e atividades para o alcance dos objetivos estabelecidos no PRAD (ALMEIDA, 2016).

Constata-se que a construção de um programa de monitoramento baseado no planejamento e na execução do monitoramento propriamente dito, constitui uma ferramenta gerencial e estratégica fundamental, por ser capaz de contribuir com o conhecimento sobre a recuperação ambiental e por permitir a compreensão sobre os motivos de sucesso (ou falha) da execução de PRAD's (ANDRADE; SANCHEZ; ALMEIDA, 2014).

### 3.3 AVALIAÇÃO DE PRAD

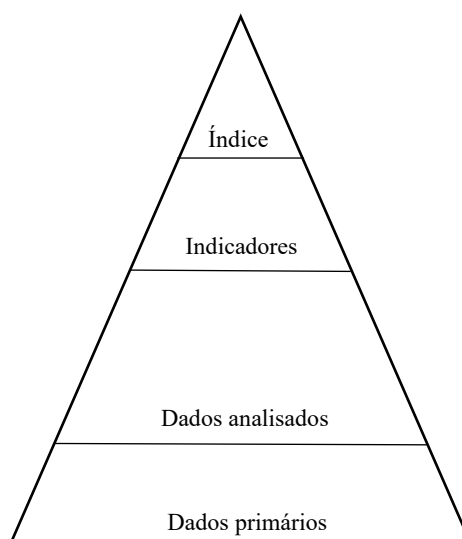
A execução de PRAD's, por diversas razões relacionadas a dificuldades de ordem técnica, gerencial e econômica, precisam ser acompanhados para que os resultados possam ter a efetividade necessária para o alcance dos objetivos da recuperação ambiental (ALMEIDA; SANCHEZ, 2005).

O acompanhamento, por sua vez, para que tenha efetividade garantida, requer o emprego de todo um processo contínuo de monitoramento de acordo com parâmetros que permitam aferir se os objetivos da recuperação ambiental estão sendo alcançados, mediante a seleção e mensuração de descritores que indiquem alteração sobre os processos ou variáveis que se relacionam com o PRAD em execução ou com o restabelecimento de processos ecológicos sobre a área em recuperação ambiental (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015).

Contudo, tais descritores, se analisados de maneira isolada, desconectada, podem fornecer informações equivocadas sobre o PRAD em execução, principalmente nos casos que envolver restauração ecológica de ecossistemas florestais (RIGUEIRA; NETO, 2013).

Hammond *et al.* (1995) propôs uma pirâmide de informação, que permite relacionar dados e indicadores, conforme a Figura 1.

**Figura 1** – Pirâmide de informações.



Fonte: Hammond *et al.*, 1995.

No escopo do presente trabalho, analisar os dados equivale a estudar dados coletados de PRAD em execução, com o fito de evidenciar fatores que regem o processo de recuperação ambiental de áreas degradadas.

A ideia é extrair informações por meio de uma ferramenta de análise exploratória que seja capaz de realizar análise conjunta de dados do fenômeno que se pretende estudar. Uma possibilidade que se vislumbra para se alcançar os resultados propostos é a descrição da associação existente entre dados coletados de uma área em recuperação ambiental por meio da análise de correspondência.

Ainda sob a ótica dos indicadores no contexto da pirâmide de informações de Hammond *et al.* (1995), sua definição se dá pela identificação e seleção de descritores dos dados

primários sobre uma determinada variável (CARVALHO, 2009) e sintetizá-lo em um valor cuja informação seja capaz de ressaltar um aspecto relevante da variável analisada (KEMERICH; RITTER; BORBA, 2014).

Uma alternativa que se verificou para viabilizar a obtenção desses indicadores foi a aplicação do conceito de Coeficientes de Rendimentos, que é de aplicação recorrente no meio acadêmico (CARVALHO, 2009).

Neste sentido, Albuquerque (2002) definiu metodologia baseada no conceito de Coeficiente de Rendimento para o posicionamento ambiental das empresas do Polo Gesseiro do Araripe em função de aspectos relacionados à poluição ambiental, à qualidade da saúde dos trabalhadores e da comunidade circunvizinha e ao desmatamento da caatinga.

Para tanto, o autor selecionou descritores baseados na norma ISO 14000, que trata da certificação em gestão ambiental, e os aplicou nas calcinadoras, a fim de obter respostas que possibilitasse desenvolver um critério que definisse um posicionamento ambiental das empresas por meio da determinação, conforme denominação do autor, de um “Coeficiente de Rendimento Ambiental (CRA)”.

Nesse sentido, a utilização do CRA, como instrumento de avaliação ambiental das empresas, se mostrou útil e objetivo e que, para o caso das calcinadoras, os menores valores apresentados foram para os quesitos de monitoramento e avaliação e de auditorias e revisão do Sistema de Gestão Ambiental para o qual se evidenciou maiores dificuldades para o alcance da certificação ambiental (ALBUQUERQUE, 2002).

Carvalho (2009), baseado na metodologia proposta por Albuquerque (2002), aplicou o coeficiente de rendimento na avaliação da sustentabilidade de um agroecossistema situado em perímetro de irrigação localizado no semiárido pernambucano.

A partir da percepção dos agricultores a respeito dos problemas existentes no perímetro de irrigação como salinização do solo, encharcamento do solo, abandono dos lotes, baixa produtividade e renda, assistência técnica e crédito agrícola inadequados, a autora selecionou os descritores enquadrando-os em variáveis nas dimensões ecológica, social, político-institucional e econômica, obtendo os indicadores respectivos a partir da aplicação da metodologia de coeficiente de rendimento.

Neste sentido, os resultados encontrados indicaram que o perímetro de irrigação estudado, na percepção do agricultor, apresenta sustentabilidade na dimensão ecológica considerada deficiente e nas dimensões social, econômica e político-institucional foram consideradas regulares.

Voltando para a pirâmide de informações de Hammond *et al.* (1995), a partir da síntese

da informação dos indicadores, pode-se gerar um índice que seja capaz de expressar a sustentabilidade, em termos matemáticos (KEMERICH *et al.*, 2014).

Neste contexto, Carvalho (2009) obteve um índice de sustentabilidade baseados na compilação dos resultados obtidos em um coeficiente de rendimento na avaliação da sustentabilidade de um agroecossistema situado em perímetro de irrigação localizado no semiárido pernambucano, possibilitando à autora expressar que o perímetro irrigado, de uma maneira geral, se encontrava em uma situação regular em termos de sustentabilidade.

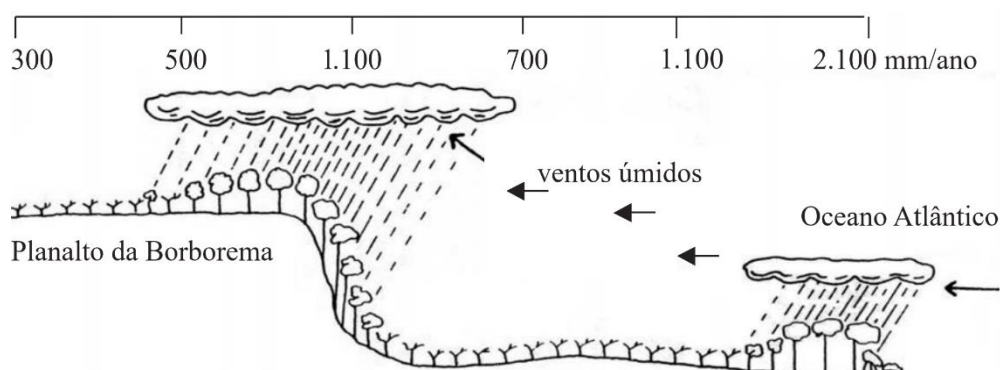
### 3.4 BREJOS DE ALTITUDE NO AGRESTE PERNAMBUCANO

Brejos de altitude é uma denominação dada às serras úmidas do Nordeste Brasileiro e se consubstanciam em matas perenifólias que contrastam com as condições ecológicas do entorno, regidas pela ocorrência de secas prolongadas do entorno, situada nas cotas de menor elevação do terreno (BETARD; PEULVAST; CLAUDINO-SALES, 2007).

Compõem um tipo de formação florestal pertencente aos domínios do Bioma Mata Atlântica que se encontram encravados na região semiárida com vegetação típica da caatinga (ANDRADE-LIMA, 2007).

Os brejos de altitude se desenvolvem em regiões oro-climáticas bem específicas e descrita em detalhes por diversos autores, dentre eles Tabarelli; Santos (2004). Em suma, possuem como características essenciais a precipitação anual que podem chegar aos 1200 mm, por estarem associados à ocorrência de planaltos e chapadas cujas altitudes que podem atingir 1100m (Figura 2). Tais condições ambientais privilegiadas conferem a essas áreas uma formação florestal de elevada biodiversidade (MEDEIROS *et al.*, 2017).

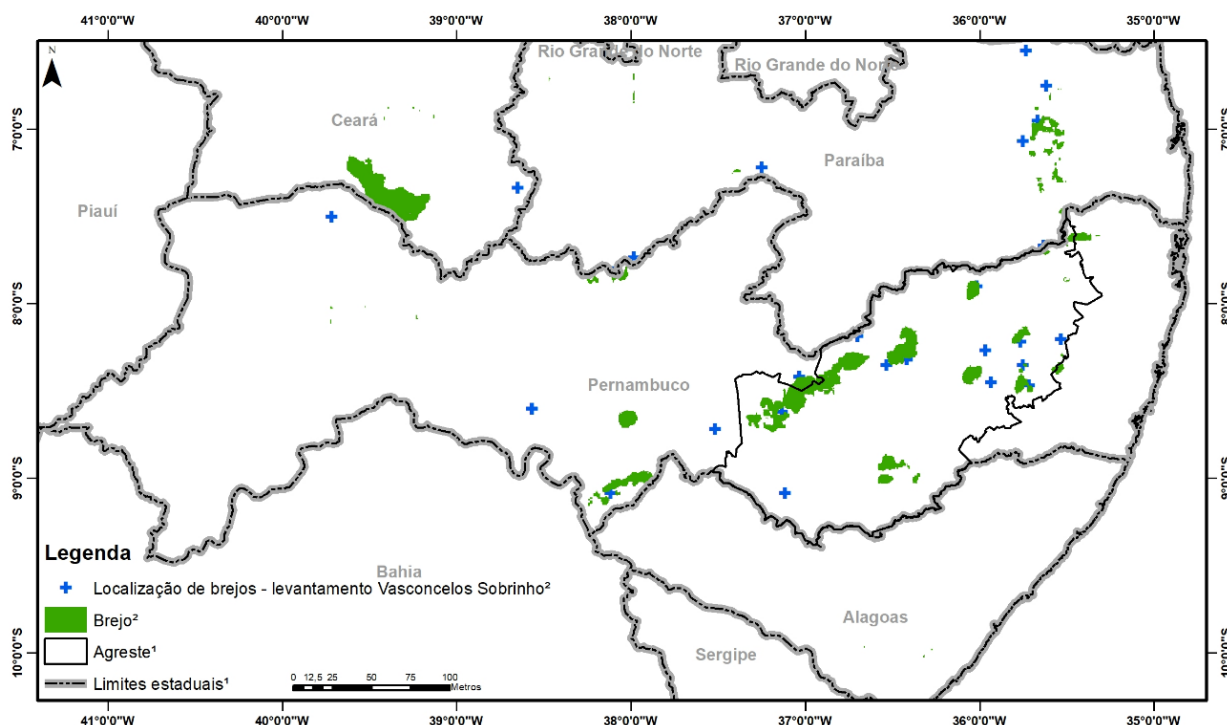
**Figura 2** – Condições oro-climáticas de brejo de altitude.



Fonte: TABARELLI; SANTOS, 2004.

Na região agreste se concentra uma parcela considerável de brejos de altitude do Estado de Pernambuco (Figura 3).

**Figura 3** – Localização dos principais brejos de altitude no Estado de Pernambuco



Fontes: <sup>1</sup> IBGE, 2014; <sup>2</sup> TABARELLI; SANTOS, 2004 (adaptado pelo autor).

As principais causas que influenciaram mudanças na paisagem de brejos de altitude, iniciou-se cronologicamente nos séculos XVI e XVII, com a fuga de indígenas para o agreste, devido a conflitos ocorridos com colonizadores (sesmeiros e invasores de terra), tendo estes se instalado nas regiões ocupadas por brejos de altitude, de onde coletavam produtos das florestas e praticavam agricultura de subsistência para o seu sustento (MONTE, 2014).

A partir do século XIX, se intensificou a degradação da cobertura florestal de brejos de altitude. De acordo com Tabarelli (2001), 85% dos brejos de altitude já foram destruídos, num processo que envolveu, inicialmente, a retirada de madeira para abastecer as caldeiras dos barcos a vapor que navegavam no Rio São Francisco e dar lugar à cafeicultura, em seguida sendo alvo do corte seletivo para extração de madeiras nobres, como o cedro.

É neste contexto que se insere o Brejo da Serra dos Ventos, onde se situa a área objeto do presente estudo, uma das mais representativa ecorregião de brejo de altitude do Agreste Pernambucano (TABARELLI; SANTOS, 2004).

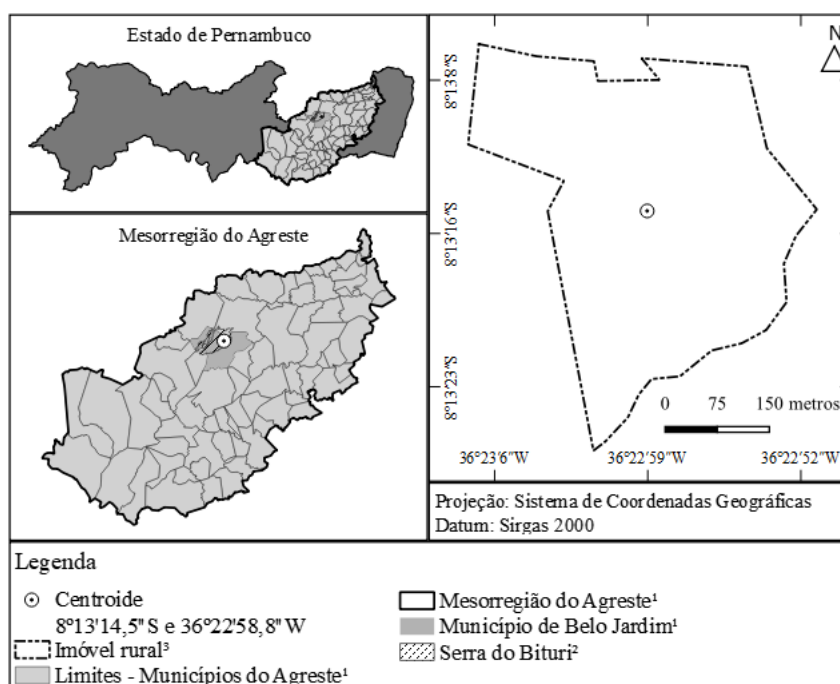
Também denominada de Serra dos Bituri por Rodrigues *et al.* (2008), este fragmento florestal possui uma área de cerca de 245 km<sup>2</sup> que engloba parte dos municípios de Belo Jardim, Brejo da Madre de Deus e Sanharó, além de contemplar uma tipologia florestal decidual e semidecidual e de transição entre a formação florestal e a caatinga hiperxerófila, bastante degradada e seriamente ameaçada (RODRIGUES *et al.*, 2008).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo se situa em localidade denominada Serra do Bituri (RODRIGUES *et al.*, 2008), abrangendo, em parte, o município de Belo Jardim, Mesorregião do Agreste, estado de Pernambuco (Figura 4).

**Figura 4** – Localização da área de estudo.



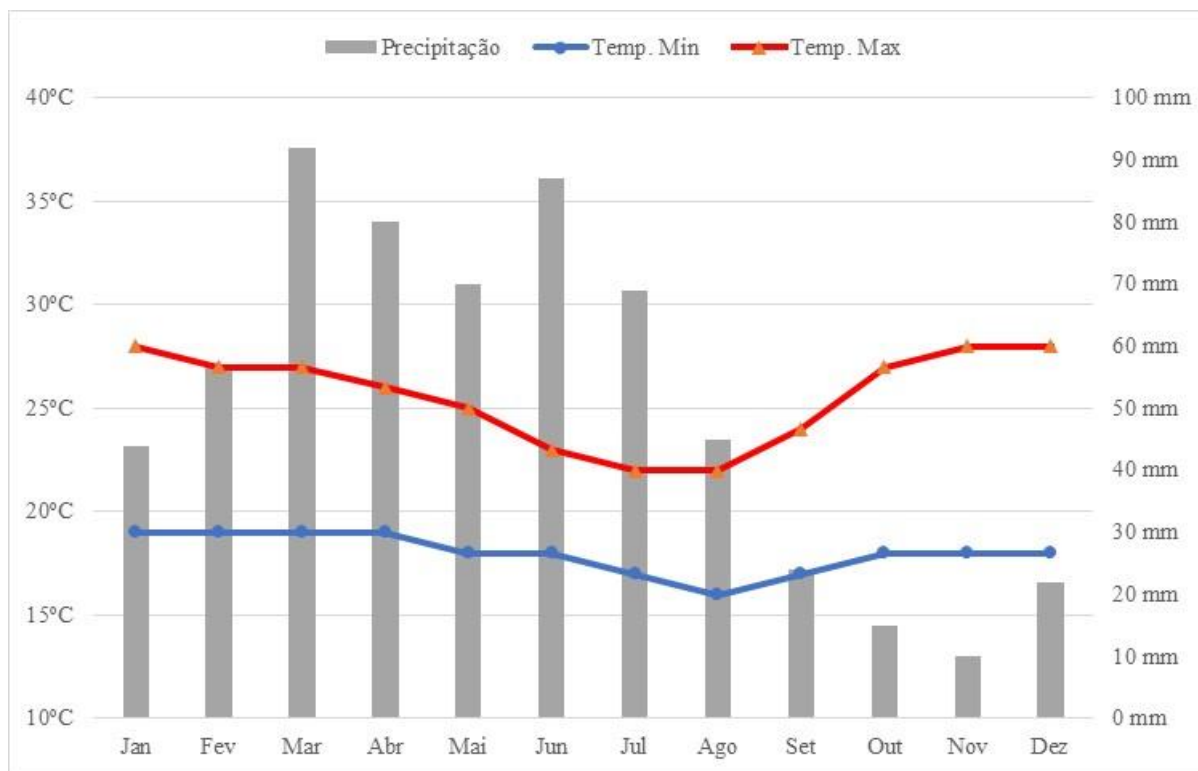
Fonte: <sup>1</sup>IBGE, 2014; <sup>2</sup>RODRIGUES *et al.*, 2008; <sup>3</sup>NUBIO/PE, 2016 (adaptado pelo autor).

De acordo com informações consignadas no Parecer Técnico 02019.000032/2016-15 NBFLO/PE/IBAMA (NUBIO/PE, 2016) sobre a área de estudo, foi constatada a ocorrência de dano ambiental em floresta de brejo de altitude, mediante corte raso e seletivo.

Condições específicas de umidade, temperatura e relevo da área condicionam a formação de vegetação característica de brejo de altitude. De acordo com Cabral *et al.* (2004), o relevo característico da região é ondulado, com a altitude atingindo cotas da ordem de 900 a 1100 metros.

O clima da região é do tipo Tropical Semiárido com chuva de verão (MORALES, 2014), conforme ilustrado na Figura 6.

Em termos de características gerais do solo, há a predominância de solos das classes dos Argissolos Vermelho-Amarelos, Argissolos, Amarelos, Neossolos Litólicos, além dos afloramentos de rochas (RODRIGUES *et al.*, 2008).

**Figura 5** – Climatologia do município de Belo Jardim.

Fonte: CLIMATEMPO, 2019.

A vegetação nativa, bastante devastada, é constituída por Floresta Estacional Semidecidual, característica da transição entre a Floresta Decidual Tropical e a Caatinga Hipoxerófila e Floresta Ombrófila Densa (RODRIGUES *et al.*, 2008).

#### 4.2 EXIGIBILIDADE DO PRAD

Em razão da conduta ilícita que culminou no passivo ambiental associado ao desmate de florestas e demais formas de vegetação nativa de brejos de altitude, o poder público cobrou a reparação de danos ao meio ambiente, como forma de corrigir os danos causados pela degradação da qualidade do meio ambiente.

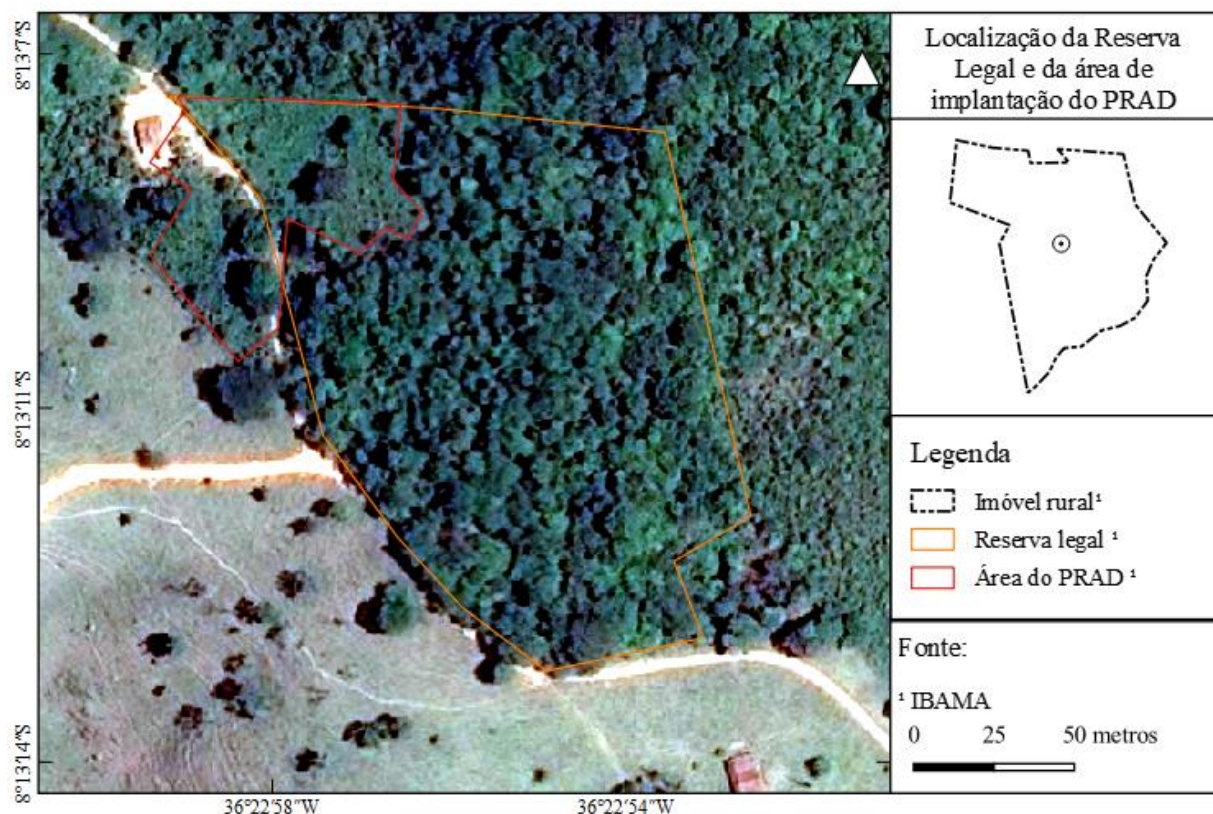
Para tanto, conforme Parecer Técnico (P.T.) 02019.000032/2016-15 NBFLO/PE/IBAMA, foi exigido a apresentação de um PRAD para a condução e o acompanhamento desse processo de reparação de danos ambientais (NUBIO/PE, 2016).

Segundo o P.T. 000519/2013 PE/NUFLORA/IBAMA (NUBIO/PE, 2013), o PRAD, apresentado no mês de dezembro de 2010, tinha por objetivo a recuperação ambiental de uma área de cerca de 0,5 hectares, integrante da reserva legal da propriedade, tendo como metodologia o plantio de espécies nativas e frutíferas (Figura 6).



De uma maneira geral, o projeto contemplava, para o alcance dos objetivos propostos, a delimitação da área a ser recuperada e seu isolamento, identificação das espécies encontradas na propriedade, aquisição e plantio de mudas, tratamentos culturais e monitoramento. Todas as atividades foram consignadas num cronograma físico de implantação e manutenção que previa atividades até o ano de 2014.

**Figura 6 – Localização da área de implantação do PRAD**



Fonte: <sup>1</sup>NUBIO/PE, 2016 (adaptado pelo autor).

Entretanto, conforme exposto no PAR. 000519/2013 PE/NUFLORA/IBAMA (NUBIO/PE, 2013), o PRAD executado não logrou êxito em atingir os objetivos propostos, tendo apresentado uma incidência de falhas bastante elevada. Observou-se questões de ordem técnicas, tais como o descumprimento da sanção do embargo interposto, mediante o plantio de capim braquiária (*Brachiaria decumbens*), e o plantio de mudas de espécies típicas da Caatinga como angico (*Anadenanthera macrocarpa*), juazeiro (*Ziziphus joazeiro*) e mororó (*Bauhinia rubuginosa*) no decorrer da execução do projeto. Em complemento, o proponente do PRAD também alegou outros fatores limitantes à execução do PRAD, como a estiagem ocorrida na região em 2012, o abandono do projeto pelo responsável técnico e a falta de recursos financeiros para viabilizar a execução de todas as atividades previstas (NUBIO/PE, 2013).

Em maio de 2014, em cumprimento a determinação de sentença judicial, foi apresentado um novo PRAD, totalmente reformulado, com a prescrição de atividades relacionadas a



erradicação da braquiária, seleção de espécies típicas do ecossistema local, designação de novo profissional habilitado para responder tecnicamente pelo PRAD e novo cronograma físico, com atividades de implantação ocorridas em 2014, e atividades de manutenção e monitoramento, realizadas de 2014 até 2017, tudo a um custo estimado de R\$ 4.631,00 (MORALES, 2014).

#### 4.3- ACOMPANHAMENTO E MONITORAMENTO

Trata-se de atividade essencial para aferição do grau e da efetividade da recuperação ambiental de área degradada. No caso em tela, o acompanhamento e monitoramento foi realizado por meio de relatórios periódicos de atividades apresentado pelo responsável técnico e de vistorias técnicas, meios pelos quais se procedeu a avaliação da execução do PRAD e sua evolução, em termos de recomposição da vegetação.

##### 4.3.1 Coleta dos dados

Os dados utilizados no presente estudo consistiram em informações coletadas em vistoria técnica realizada na avaliação feita no mês de abril de 2016, culminando no PAR. 02019.000032/2016-15 NBFLO/PE/IBAMA (NUBIO/PE, 2016), e no mês de março de 2018. O objetivo, neste caso, consistiu em se averiguar em campo se o PRAD estava sendo adequadamente executado, com vistas a dar cumprimento ao que foi acordado e consignado no cumprimento de sentença nº 0005740-74.2009.4.05.8300.

Para tanto, tendo em vista o período relativamente curto para se proceder à vistoria na área, foi feito o emprego da seguinte metodologia:

##### 4.3.2 Unidade amostral

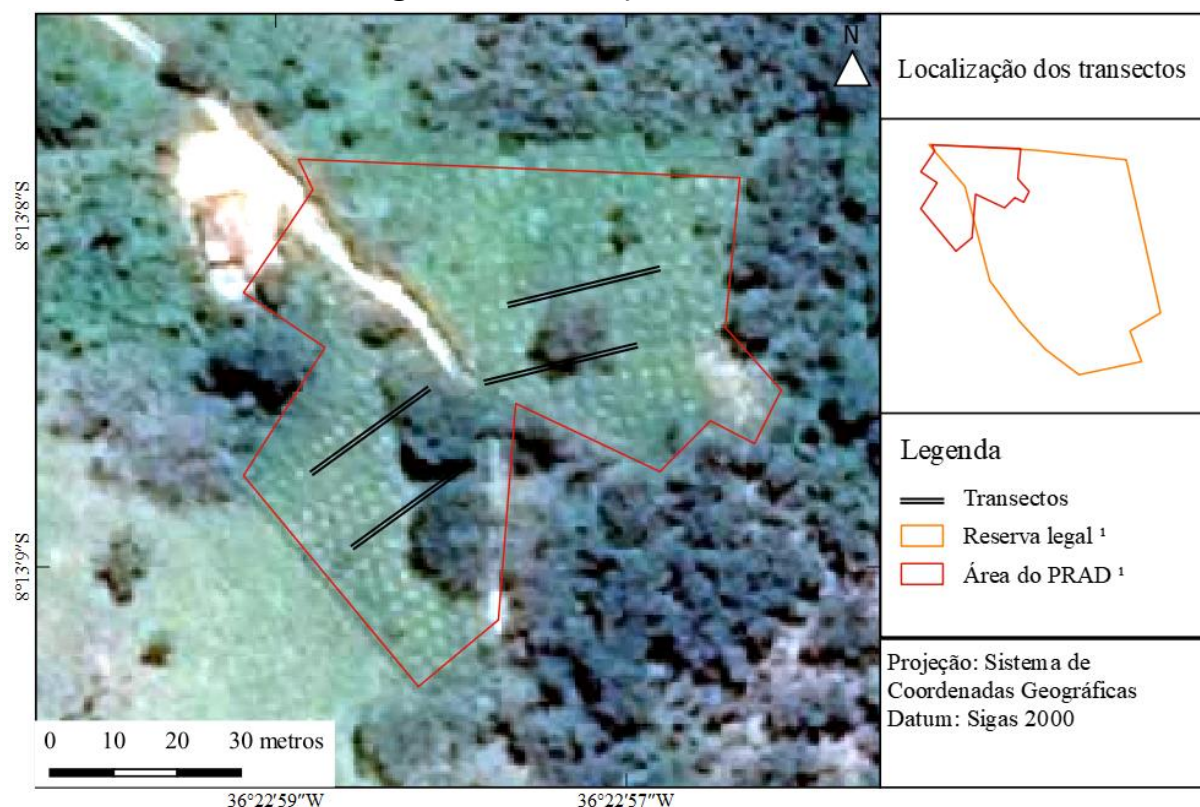
Como unidade amostral, foi definido um transecto de 25 m x 4 m, totalizando 100 m<sup>2</sup>. Ao todo foram alocados 4 transectos, conforme Figura 7. Com base no Índice de Avaliação de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (IAPRAD), cujos detalhes encontram-se presentes na seção 4.4.3, é calculado o erro de amostragem, com o emprego da seguinte expressão (MEUNIER; SILVA; FERREIRA, 2001):

$$E = t \sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n-1} \left( \frac{N-n}{N} \right)} \quad (1)$$

em que E é igual ao erro de amostragem;  $\hat{p}$  é o estimador de proporção da amostra (no caso, o IAPRAD em casas decimais);  $\hat{q}$  é o complementar de  $\hat{p}$  ( $\hat{p} + \hat{q} = 1$ ); N é o número de unidades amostrais de toda a área; n é o número de unidades amostrais amostradas; e t é o valor tabelado

da estatística  $t$ , com 90% de probabilidade e  $n-1$  graus de liberdade. A escolha da probabilidade de 90% para encontrar o valor tabelado de  $t$  é justificado pelo fato de que, na região Nordeste, admite-se, para trabalhos realizados de levantamento amostral da vegetação nativa para fins relacionados com o controle e uso sustentável dos recursos florestais, que seja considerado um nível de confiança de 90%, a exemplo do que dispõe a Instrução Normativa CPRH nº 007/2006 (CPRH, 2006) e a Instrução Normativa Ibama nº 03/2001 (IBAMA, 2001).

**Figura 7 – Localização dos transectos.**



Fonte: 'NUBIO/PE, 2016 (adaptado pelo autor).

#### 4.3.3 Parâmetros técnicos para a coleta dos dados

Foram adotados parâmetros técnicos estabelecidos em função do PRAD apresentado e aprovado. Nesse sentido observa-se duas fases distintas com relação a execução do PRAD: (i) implantação florestal e; (ii) manutenção florestal.

Para a fase de implantação florestal, todos os indivíduos plantados presentes nas unidades amostrais foram identificados taxonomicamente, quanto ao seu nome popular e científico, com o auxílio na identificação botânica, tanto do responsável técnico quanto de seus colaboradores, que também estavam acompanhando a vistoria.

A avaliação dos aspectos relacionados à fase de manutenção florestal se baseou em informações sobre as condições de matocompetição da área e sobre o desenvolvimento

vegetativo dos indivíduos das espécies amostradas, baseados no porte e no estado fitossanitário. Estas informações foram registradas em fichas de campo.

Em função da altura, o porte dos indivíduos foi considerado bom, regular ou ruim, de acordo com os seguintes parâmetros: ruim, se altura medida for inferior a 0,7 m, regular, se altura medida estiver dentro do intervalo de 0,71 m e 1,5 m e bom se altura medida for maior que 1,51 m.

Em relação ao estado fitossanitário, característica mais associado à qualidade das espécies, a avaliação foi, por sua vez, subjetiva e considerou a identificação de um ou mais sintomas associados à deficiência nutricional, estresses hídricos, ataque de pragas e doenças e sua expressão numa eventual debilidade ou vigor da planta, traduzindo-se em parâmetros de qualidade boa, regular ou ruim.

A matocompetição, seja na coroa da muda, seja na entrelinha do plantio, foi considerada em boa, regular ou ruim, em observância a ocorrência de plantas competidoras consideradas daninhas.

Informações a respeito da posição topográfica da unidade amostral foram computadas, com indicação se o transecto se situava em posição de cota inferior ou superior da área em avaliação. Nas unidades amostrais avaliadas, também foram registradas informações referentes à mortalidade das mudas plantadas e distribuição ordenada das mudas no campo, registradas neste caso como falhas.

#### 4.4 AVALIAÇÃO DO PRAD

Com a finalidade de garantir a efetividade do acompanhamento do PRAD em execução, a avaliação tem como fundamento a pirâmide de informação proposta por Hammond *et al.* (1995).

##### 4.4.1 Dados primários

Os dados foram arranjados na ficha de campo segundo dois grupos de descritores, com os grupos organizados em linhas e colunas, como numa tabela de dados cruzados. Um dos grupos referentes às observações foram arranjados em linhas e fazem referência aos indivíduos das espécies plantadas na fase de implantação florestal. O outro grupo, referente às variáveis que expressam os resultados das práticas de manejo silvicultural aplicadas na fase de manutenção florestal para a condução do estabelecimento da comunidade florestal implantada, foram organizados nas colunas.

No primeiro momento, os dados da ficha de campo são organizados em forma de tabelas ou gráficos visando a sua apresentação. Este compreende o primeiro nível da avaliação do PRAD segundo o escopo pirâmide de informação proposta por Hammond *et al.* (1995). Os dados referentes aos indivíduos das espécies plantadas amostradas foram consignados em tabelas de composição florística contendo nome vulgar, nome científico, família, abreviatura (para facilitar a identificação perante a representação gráfica) e identificação dos transectos em que foram amostrados.

Os dados das variáveis relacionadas à fase de manutenção florestal são apresentados em gráfico de barras da distribuição das categorias em cada variável. Esta representação permite uma rápida leitura inicial dos dados e uma percepção imediata das variáveis categóricas que possuem maior ou menor frequências (MARTINS, 2018).

#### 4.4.2 Análise dos dados

Corresponde ao segundo nível da avaliação do PRAD segundo o escopo pirâmide de informação proposta por Hammond *et al.* (1995). Por se tratar de dados categóricos, sua análise será equivalente a estudar os dados coletados de maneira conjunta, de forma a evidenciar relações entre as variáveis e as observações até então não perceptíveis, possibilitando a identificação de padrões porventura ocorrente na recuperação ambiental em curso, pelo PRAD em execução.

Assim, para o estudo da recuperação ambiental de áreas degradadas pela análise conjunta dos dados, utilizou-se a técnica de análise de correspondência, que envolve a seguinte sequência de passos.

##### 4.4.2.1 Tabela de dados para análise de correspondência

Inicialmente, os dados coletados e registrados na ficha de campo foram consolidados em uma planilha eletrônica de dados com os indivíduos das espécies amostradas nas linhas (i) e as variáveis levantadas na avaliação da execução do PRAD nas colunas (j), que por sua vez possuem categorias (k), conforme exemplo ilustrativo simplificado da Tabela 1.

**Tabela 1** – Exemplo de tabela consolidada alusivo ao registro em planilha eletrônica dos dados coletados em campo.

Espécie	Área	D	Q	C	E
Araçá	Inf	D1	Q1	C1	E1
Mulungu	Inf	D2	Q1	C3	E1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Para tanto foi utilizada uma descrição sintética das variáveis e suas respectivas categorias, conforme disposto na Tabela 2.

**Tabela 2** – Descrição sintética das variáveis e suas respectivas categorias, referente aos dados coletados da avaliação do PRAD, que foram consolidados em planilha eletrônica.

Variáveis	Descrição	Categorias
Área	Identificação da área	Sup: Unidade amostral situado acima da estrada, local de altitude mais elevada na área
		Inf: Unidade amostral situado abaixo da estrada, local de mais baixa altitude na área
D	Desenvolvimento dos indivíduos	D1: Desenvolvimento considerado “Bom”
		D2: Desenvolvimento considerado “Regular”
		D3: Desenvolvimento considerado “Ruim”
		D0: Desenvolvimento não avaliado em caso de Falha
Q	Qualidade das espécies	Q1: Qualidade considerada “Boa”
		Q2: Qualidade considerada “Regular”
		Q3: Qualidade considerada “Ruim”
		Q0: Qualidade não avaliada em caso de Falha
C	Coroamento das mudas	C1: Condições de coroamento considerado “Bom”
		C2: Condições de coroamento considerado “Regular”
		C3: Condições de coroamento considerado “Ruim”
		C0: Matocompetição na coroa da muda não avaliado em caso de Falha
E	Entrelinha do plantio	E1: Condições da entrelinha considerada “Boa”
		E2: Condições da entrelinha considerada “Regular”
		E3: Condições da entrelinha considerada “Ruim”
		E0: Matocompetição nas entrelinhas não avaliada em caso de Falha

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Em seguida, a Tabela 1 é convertida para uma matriz de formato binário, conforme metodologia proposta por MARKOS *et al.* (2009). Tal procedimento foi desenvolvido no software R, versão 3.6 (R Core Team, 2019), com o auxílio do pacote FactoMineR (LE; JOSSE; HUSSON, 2008) cujo resultado se assemelha ao modelo apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3** – Modelo de matriz de dados na forma binária (matriz **Z**) obtido a partir da tabela consolidada de dados.

	Inf	Sup	D1	D2	D3	Q1	Q2	Q3	C1	C2	C3	E1	E2	E3
Araçá	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
Mulungu	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0
Tambor	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

#### 4.4.2.2 Metodologia para análise de correspondência

A metodologia proposta no presente trabalho para a análise de correspondência compreende: (i) o cálculo da distância de qui-quadrado; (ii) o cálculo da matriz de coeficientes com medidas que indicam semelhança; (iii) o cálculo dos autovalores e autovetores; e (iv) a confecção do biplot, para os dados coletados na avaliação do PRAD realizada no mês de abril de 2016 e no mês de março de 2018.

A distância de qui-quadrado ( $D_{\chi^2_i}$ ) permite que os perfis de linha e de colunas sejam comparados em termos de associação com os perfis médio das variáveis categóricas e das observações, respectivamente. O cálculo da  $D_{\chi^2_i}$  compreende o cálculo da distância entre os perfis e o centroide. Para facilitar o desenvolvimento das fórmulas, procedeu-se a uma generalização da matriz de dados na forma binária, culminando na Tabela 4.

**Tabela 4** – Generalização da forma binária (matriz **Z**) dos dados coletados na avaliação do PRAD.

	1	2	3	...	j	Total linha
1	$n_{11}$	$n_{12}$	$n_{13}$	...	$n_{1j}$	$n_{1+}$
2	$n_{21}$	$n_{22}$	$n_{23}$	...	$n_{2j}$	$n_{2+}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
i	$n_{i1}$	$n_{i2}$	$n_{i3}$	...	$n_{ij}$	$n_{i+}$
Total coluna	$n_{+1}$	$n_{+2}$	$n_{+3}$	...	$n_{+j}$	$n_{++}$

Fonte: GONÇALVES; SANTOS, 2009 (adaptado pelo autor).

Os elementos do perfil da linha  $i$  representam a frequência de cada observação por suas respostas em cada variável categórica definida em função dos parâmetros técnicos estipulados na avaliação do PRAD em execução, notadamente a fase de manutenção florestal. É calculado como (KASSAMBARA, 2017):

$$r_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_{i+}} \quad (2)$$

em que  $n_{ij}$  é o elemento da célula  $i, j$ , e  $n_{i+}$  é a soma total da  $i$ -ésima linha ( $\sum_{j=1}^J n_{ij}$ ). O perfil da  $i$ -ésima linha é considerado um vetor, dado por  $\mathbf{r}_i = [r_{i1}; r_{i2}; \dots; r_{iJ}]$  pela concatenação dos elementos  $r_{ij}$  na linha (INFANTOSI; COSTA; ALMEIDA, 2014).

Analogamente, os elementos do perfil da coluna  $j$  representam a frequência de cada variável categórica em função da distribuição das observações (indivíduos amostrados que representam a coleta de dados referente a fase de implantação florestal). É obtido pela expressão:

$$c_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_{+j}} \quad (3)$$

em que  $n_{+j}$  é a soma total da  $j$ -ésima coluna ( $\sum_{i=1}^I n_{ij}$ ). O perfil da  $j$ -ésima coluna é considerado um vetor, dado por  $\mathbf{c}_j^T = [c_{1j}; c_{2j}; \dots; c_{Ij}]^T$  pela concatenação dos elementos  $c_{ij}$  na coluna (INFANTOSI; COSTA; ALMEIDA, 2014).

Os elementos do centroide de linhas são obtidos pela média ponderada dos perfis de linha com a sua massa. A massa de linha corresponde à frequência marginal de linhas, definido como:

$$c_{0i} = \frac{n_{i+}}{n_{++}} \quad (4)$$

sendo  $n_{++}$  a soma total da matriz de dados e  $\mathbf{c}_0 = [c_{01}; c_{02}; \dots; c_{0i}]$  é o vetor com os elementos da massa de linhas. O centroide de linhas então fica:

$$\bar{\mathbf{r}}_{0j} = \sum_{i=1}^J \mathbf{c}_0 * \mathbf{r}_i \quad (5)$$

e são correspondentes ao perfil médio de colunas.

Para colunas, o centroide (que corresponde ao perfil médio de linhas) também é obtido pela média ponderada dos perfis coluna também com sua respectiva massa (frequência marginal de colunas), ou seja:

$$r_{0j} = \frac{n_{+j}}{n_{++}} \quad (6)$$

$$\bar{\mathbf{c}}_{0i} = \sum_{j=1}^I \mathbf{r}_0 * \mathbf{c}_j \quad (7)$$

sendo  $\mathbf{r}_0 = [r_{01}; r_{02}; \dots; r_{0j}]$  é o vetor com os elementos da massa de linhas

Assim, o cálculo da  $D_{X_i^2}$  de uma observação dispostas na linha  $i$  é a soma do quadrado dos resíduos da diferença entre o perfil da observação da linha  $i$  e o respectivo centroide de linhas (KASSAMBARA, 2017), conforme a expressão:

$$D_{X_i^2}(\mathbf{r}_i, \bar{r}_{0j}) = \sum_{j=1}^J \frac{(\mathbf{r}_i - \bar{r}_{0j})^2}{\bar{r}_{0j}} \quad (8)$$

De maneira análoga, a  $D_{X_i^2}$  entre perfis coluna e o centroide de colunas é dado por:

$$D_{X_i^2}(\mathbf{c}_j, \bar{c}_{0i}) = \sum_{i=1}^I \frac{(\mathbf{c}_j - \bar{c}_{0i})^2}{\bar{c}_{0i}} \quad (9)$$

Tal procedimento foi desenvolvido no software R, versão 3.6 com o auxílio do pacote base (R Core Team, 2019).

A obtenção da matriz de coeficientes contendo medidas que indicam semelhança requer uma sequência de cálculos, iniciado pela transformação da matriz de dados (denominada matriz **Z**) em uma matriz de frequência pela fórmula:

$$f_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_{++}} \quad (10)$$

culminando na matriz de frequência **F**, conforme Tabela 5.

**Tabela 5.** Matriz de frequência **F** oriunda da matriz **Z**.

	1	2	3	...	j	Total das linhas
1	$f_{11}$	$f_{12}$	$f_{13}$	$\dots$	$f_{1j}$	$f_{1+}$
2	$f_{21}$	$f_{22}$	$f_{23}$	$\dots$	$f_{2j}$	$f_{2+}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
i	$f_{i1}$	$f_{i2}$	$f_{i3}$	$\dots$	$f_{ij}$	$f_{i+}$
Total das colunas	$f_{+1}$	$f_{+2}$	$f_{+3}$	$\dots$	$f_{+j}$	1

Fonte: GONÇALVES; SANTOS, 2009 (adaptado pelo autor).

Da matriz **F** são obtidos o vetor de frequências marginais da linha (vetor **r**), formado pela concatenação dos elementos do total das linhas  $f_{1+}$ ,  $f_{2+}$ , ...,  $f_{i+}$  e o vetor de frequências marginais das colunas (vetor **c**) formado pela concatenação dos elementos do total das colunas  $f_{+1}$ ,  $f_{+2}$ , ...,  $f_{+j}$ .

Os resultados acima são aplicados na seguinte expressão:

$$\mathbf{Q} = \text{diag}(\mathbf{r})^{-1/2} * (\mathbf{F} - \mathbf{r} * \mathbf{c}^t) * \text{diag}(\mathbf{c})^{-1/2} \quad (11)$$

sendo que  $\text{diag}(\mathbf{r})$  e  $\text{diag}(\mathbf{c})$  são matrizes diagonais do vetor **r** e **c**, respectivamente, e **Q** é a matriz de coeficientes com medidas que indica semelhança.

Em seguida, sobre a matriz **Q** é aplicado o processo de decomposição em valores singulares, podendo e mesma ser reescrita da seguinte maneira:

$$\mathbf{Q} = \mathbf{U} \mathbf{W} \mathbf{V}^T \quad (12)$$

em que **W** é a matriz diagonal de valores singulares ( $w_i$ ) da matriz original decomposta e **U** e **V** são matrizes ortogonais de vetores singulares associados à matriz **W** (INFANTOSI; COSTA;



ALMEIDA, 2014). De acordo com Nenadic, Greenacre (2005), o número de valores singulares diferentes de zero de uma matriz de dados na forma binária baseada em quatro variáveis que ao todo totalizam 8 níveis (ou variáveis categóricas) é igual a quatro.

Pelas características da tabela de dados, de possuir mais linhas que colunas, os valores singulares elevado ao quadrado ( $w_i^2$ ) são equivalentes aos autovalores da matriz quadrada  $\mathbf{Q}^T\mathbf{Q}$  em que  $\lambda$  é o autovalor e  $\mathbf{\Lambda}$  é a matriz diagonal dos autovalores  $\lambda$ , cuja soma representa a inércia total do sistema, além de definirem os eixos fatoriais da representação gráfica (LEGENDRE; LEGENDRE, 1998).

A primeira análise consiste em verificar se existe associação entre linhas e colunas, ou seja, se existe relações entre os indivíduos amostrados das espécies florestais plantados na fase de implantação florestal e as ações de manejo silvicultural executadas na fase de manutenção florestal para conduzir o reflorestamento. Para tanto, será utilizada a estatística de qui-quadrado (COSTA *et al.*, 2013). Neste caso, para a obtenção da estatística de qui-quadrado far-se-á uso da relação que existe entre inércia total e a estatística do qui-quadrado conforme a seguinte expressão (MINGOTI, 2005):

$$\sum_{i=1}^n \lambda = \frac{\chi_i^2}{n_{++}} \quad (13)$$

onde  $n_{++}$  representa o total da matriz de dados na forma binária.

Em razão das limitações para se realizar o teste de significância para a estatística de  $\chi_i^2$  obtida na análise de correspondência múltipla (CAMIZ; GOMES, 2016), optou-se pela aplicação do Coeficiente de Contingência para verificar se a estatística de  $\chi_i^2$  indica a existência de algum grau de associação entre linhas e colunas (GINGRICH, 2004). Para o cálculo do Coeficiente de Contingência, observou-se o seguinte procedimento conforme Törmäkangas (2014):

- i) cálculo do valor da estatística de  $\chi_i^2$  conforme expressão (18);
- ii) cálculo do coeficiente de contingência observado, segundo a expressão:

$$C_{obs} = \sqrt{\frac{\chi_i^2}{\chi_i^2 + n_{++}}} \quad (14)$$

onde  $n_{++}$  representa o total da matriz de dados na forma binária.

- iii) cálculo do máximo valor para o coeficiente de contingência pela expressão:

$$C_{max} = \sqrt[4]{\frac{r-1}{r} * \frac{c-1}{c}} \quad (15)$$

onde  $r$  é o número de linhas e  $c$  é o número de colunas da matriz de dados binária.

iv) cálculo do coeficiente de contingência, segundo a expressão:

$$C_{\text{stand}} = \frac{C_{\text{obs}}}{C_{\text{max}}} \quad (16)$$

que varia entre 0 e 1 com 0 indicando independência e 1 dependência.

Depois de ter sido constatado a existência de relações entre linhas e colunas, utiliza-se os autovalores e autovetores para descrever os principais fatores que regem estas relações. Os autovalores e os autovetores podem ser analisados de maneira isolada e/ou conjunta na análise de correspondência.

No caso da análise isolada, os autovalores definem os eixos que poderão ser utilizados na representação gráfica e a quantidade da variação em relação à inércia a que cada eixo corresponde (BOCARD, GILLET, LEGENDRE, 2011). Estes resultados serão exibidos de maneira gráfica, por meio da expressão tanto do valor resultante de cada autovalor quanto da porcentagem acumulada da variância explicada, para os autovalores obtidos pela decomposição em valores singulares (DVS) da matriz  $\mathbf{Q}$  obtida dos dados coletados na avaliação realizada em abril de 2016 e também da avaliação realizada em março de 2018.

Os autovetores das matrizes  $\mathbf{U}$  e  $\mathbf{V}$  representam os “loadings” (pesos) de perfis linhas e de perfis colunas da tabela de dados (LEGENDRE; LEGENDRE, 1998) e podem ser utilizados para a identificação das observações e das variáveis que mais contribuíram para a variabilidade dos eixos (BERTONCELO, 2016). Um procedimento admissível para tal é por meio do exame dos valores assumidos pelos vetores singulares das variáveis e das observações associados a um eixo de interesse em um gráfico (SILVA, 2016). Assim, os resultados dos autovetores referente às observações e às variáveis serão apresentados na forma de um gráfico de barras para os dois primeiros eixos, tanto para os dados da primeira avaliação coletados em abril de 2016, quanto para os dados da segunda avaliação, coletados em março de 2018.

A análise conjunta compreende a aplicação dos autovalores e dos autovetores das matrizes  $\mathbf{U}$  e  $\mathbf{V}$  em um processo de ordenação que consiste na representação gráfica das observações e das variáveis categóricas em um gráfico de dispersão denominado biplot.

Primeiro os autovetores das matrizes  $\mathbf{U}$  e  $\mathbf{V}$  são transformadas em coordenadas normalizadas, conforme as seguintes expressões (LEGENDRE; LEGENDRE, 1998):

$$\hat{\mathbf{S}} = \text{diag}(\mathbf{r})^{-1/2} * \mathbf{U} \quad (17)$$

$$\mathbf{S} = \text{diag}(\mathbf{c})^{-1/2} * \mathbf{V} \quad (18)$$

em que  $\hat{\mathbf{S}}$  refere-se à matriz de coordenadas normalizadas para as observações e  $\mathbf{S}$  é a matriz de coordenadas normalizadas para as variáveis categóricas.

As matrizes de coordenadas normalizadas são transformadas em matrizes de coordenadas principais mediante o emprego das seguintes expressões (NENADIC; GREENACRE, 2005):

$$\hat{\mathbf{C}} = \hat{\mathbf{S}} * \mathbf{\Lambda}^{1/2} \quad (19)$$

$$\mathbf{C} = \mathbf{S} * \mathbf{\Lambda}^{1/2} \quad (20)$$

em que  $\hat{\mathbf{C}}$  é a matriz de coordenadas principais para as linhas (observações) e  $\mathbf{C}$  é a matriz de coordenadas principais para as colunas (variáveis categóricas).

No presente trabalho, a variável área não é uma variável que necessariamente faça referência à avaliação do PRAD em execução. Por essa razão esta variável foi descartada do processo de obtenção dos autovalores e dos autovetores, que culmina, dentre outros, na definição do espaço de representação gráfica (CARVALHO; STRUCHINER, 1992).

Entretanto, é desejável representar esta variável (tida, neste caso, como variável categórica suplementar) no biplot e assim enriquecer a interpretação dos dados no gráfico. Para tanto, Infantosi; Costa; Almeida (2014) demonstraram que as coordenadas principais de colunas podem ser expressas em função da média ponderada das coordenadas padronizadas de linhas. Este procedimento permite obter as coordenadas principais de variáveis categóricas suplementares pelo desenvolvimento da seguinte equação de transição:

$$\mathbf{C}_{\text{sup}} = \mathbf{C}_{\text{jsup}}^T * \hat{\mathbf{S}} \quad (21)$$

em que  $\mathbf{C}_{\text{jsup}}$  é a matriz de perfil coluna da variável categórica área e  $\mathbf{C}_{\text{sup}}$  é a matriz de coordenadas principais da variável categórica área.

Para a implementação de toda a metodologia relacionada à análise de correspondência, utilizou-se o software livre R versão 3.6.0 com o auxílio dos pacotes base (R Core Team, 2019) e FactoMineR (LE; JOSSE; HUSSON, 2008) e planilhas eletrônicas do Excel.

#### 4.4.3 Aplicação dos Indicadores e do Índice

A análise de dados empregando a análise de correspondência é bastante útil para explorar os dados e identificar relações entre as variáveis para as quais se coletaram os dados. Entretanto, quando se deseja realizar comparações, uma medida que possa expressar uma visão do conjunto (KEMERICH; RITTER; BORBA, 2014) é interessante no processo de avaliação da execução de PRAD em acompanhamento.

Assim, é de bom alvitre consolidar as informações em um índice, por meio da integração dos dados coletados, cujo valor numérico possa posicionar o andamento da execução do PRAD

segundo comparações com situações pretéritas que possam indicar a sua evolução, estagnação e declínio.

O primeiro passo nesta abordagem é associar o resultado da coleta de dados a uma grandeza numérica que possa expressar uma tendência, a que chamaremos de indicador.

As fichas de campo aplicadas nas vistorias realizadas no mês de abril de 2016, e no mês de março de 2018, contemplavam quatro variáveis que foram avaliados segundo os parâmetros técnicos descritos no item 4.3.3 deste trabalho. Aos resultados consignados na ficha de campo são, então, atribuídos pesos, considerando os valores referenciados na Tabela 6.

**Tabela 6** – Matriz de valoração das variáveis do PRAD avaliadas.

Variável	Descritor	Valor
Desenvolvimento dos indivíduos	Desenvolvimento considerado “Bom”	3
	Desenvolvimento considerado “Regular”	2
	Desenvolvimento considerado “Ruim”	1
	Desenvolvimento não avaliado em caso de Falha	0
Qualidade das espécies	Qualidade considerada “Boa”	3
	Qualidade considerada “Regular”	2
	Qualidade considerada “Ruim”	1
	Qualidade não avaliada em caso de Falha	0
Coroamento das mudas	Condições de coroamento considerado “Bom”	3
	Condições de coroamento considerado “Regular”	2
	Condições de coroamento considerado “Ruim”	1
	Matocompetição na coroa da muda não avaliado em caso de Falha	0
Entrelinha do plantio	Condições da entrelinha considerada “Boa”	3
	Condições da entrelinha considerada “Regular”	2
	Condições da entrelinha considerada “Ruim”	1
	Matocompetição nas entrelinhas não avaliada em caso de Falha	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O indicador a ser apreciado, baseado na determinação de um Coeficiente de Rendimento Ambiental, para cada variável, conforme adaptação da metodologia aplicada por Albuquerque (2002), é definido pela seguinte expressão:

$$CRA = \frac{[3(\%BOM) + 2(\%REGULAR) + 1(\%RUIM) + 0(\%FALHAS)]}{3} \quad (22)$$

O valor do CRA pode variar de 0 a 1 (ou 100%) e quanto mais próximo de 1, mais positivo é o indicativo (CARVALHO, 2009) para o bom andamento da execução do PRAD para uma determinada variável.

Os resultados de coeficientes de rendimento individualizados para cada variável avaliada nas vistorias técnica podem ser combinados, para comporem um índice, por meio da seguinte expressão:

$$IAPRAD = \frac{\sum CRA}{p} \quad (23)$$

em que  $\sum CRA$  é a soma dos valores de CRA obtido para cada variável e  $p$  é o número de variáveis que foram avaliadas.

Este índice, por sua vez, pode ser utilizado como um valor numérico que possa expressar a “posição” em que se encontra a execução de um PRAD, quando comparado com outros valores de IAPRAD. Este índice, no presente trabalho, será denominado de “Índice de Avaliação de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas” – IAPRAD.

A fim de aferir o grau e a efetividade da execução do PRAD segundo os resultados obtidos com base nas avaliações realizadas em abril de 2016 e em março de 2018, foram definidos os seguintes valores de referência:

- $IAPRAD \geq 90\%$ : execução do PRAD considerada ótima;
- $75\% \leq IAPRAD < 90\%$ : execução do PRAD considerada boa;
- $50\% \leq IAPRAD < 75\%$ : execução do PRAD considerada regular; e
- $IAPRAD < 50\%$ : execução do PRAD considerada insatisfatória.

O IAPRAD superior a 90% compreende situações em que as variáveis relacionadas a matocompetição e desenvolvimento vegetativo considerados bons possuem CRA superior a 80% e o percentual de falhas inferior a 5% em mais de 90% das situações. Neste caso, vislumbra-se que a execução do PRAD está produzindo resultados satisfatórios e que não há necessidade de ajustes em atividades e ações programadas.

O IAPRAD entre 75% e 90% indica situações em que as variáveis de matocompetição e desenvolvimento vegetativo considerados bons com CRA superior a 80% e percentual de falhas no entorno de 10%, bem como situações em que as variáveis de matocompetição e desenvolvimento vegetativo considerados bons possuem valores de CRA entre 50 e 80 associados a variáveis de matocompetição e desenvolvimento vegetativo com CRA considerados regular com CRA abaixo dos 50% e percentual de falhas no entorno de 10%. Neste caso, a execução do PRAD está produzindo resultados satisfatórios, porém com a necessidade de ajustes pontuais em atividades e ações programadas.

O IAPRAD entre 50% e 75% abarca as situações em que as variáveis de matocompetição e desenvolvimento vegetativo considerados bons com CRA a valores inferiores a 50% associados ao percentual de falhas superior a 10% ou a variáveis de matocompetição e desenvolvimento vegetativo considerado ruim com CRA variando de 20% a 50%. A sinalização é de uma execução do PRAD com resultados considerados razoáveis e com necessidade de reformulação parcial.

Já o IAPRAD inferior a 50% contempla as situações em que o valor do percentual de falhas supera o valor do CRA para as variáveis de matocompetição e desenvolvimento vegetativo considerado bom e/ou as variáveis de matocompetição e desenvolvimento vegetativo considerado ruim possuem o maior valor de CRA dentre todas as variáveis que compõem o IAPRAD. A execução do PRAD, neste caso, está produzindo resultados insatisfatórios e há necessidade de reformulação total do projeto.

O IAPRAD foi utilizado em uma aplicação que visa justificar a recomendação de intensidade amostral existente na literatura para áreas inferiores a 1,0 ha. Para tanto, foram simulados valores de IAPRAD, desde a situação em que a execução do PRAD beirava a perfeição ( $IAPRAD = 0,99$ ) a IAPRAD regular ( $IAPRAD = 0,5$ ) cujo resultado expressa a execução mediana do PRAD, considerando o número de amostras igual ao recomendado ( $n = 5$ ) e o nível de probabilidade igual a 90% para o cálculo do erro amostral. Para estabelecer um número ótimo de parcelas, foi considerado um erro amostral de 20%.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 DADOS PRIMÁRIOS

Na área amostral, ao todo, foram coletadas informações de 16 indivíduos na primeira ocasião e 22 indivíduos na segunda ocasião, que no total pertencem a 15 espécies e 10 famílias (Tabela 7).

**Tabela 7** – Relação das espécies identificadas no levantamento amostral realizado para a avaliação do PRAD em execução na Serra do Bituri, PE.

Nome científico	Nome popular	Família	Transecto			
			1	2	3	4
-	Falha	-		x	x	
<i>Bowdichia virgilioides</i>	Sucupira	Fabaceae	x			
<i>Cecropia pachystachia</i>	Embauba	Cecropiaceae	x			x
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Tambor	Fabaceae	x			x
<i>Erythrina velutina</i>	Mulungu	Fabaceae		x		
<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá	Fabaceae	x			x
<i>Loetia apetala</i>	Piranha	Salicaceae	x			
<i>Miconia albicans</i>	Quaresmeira	Melastomataceae				x
<i>Miconia</i> sp.	Melastomataceae	Melastomataceae			x	
<i>Pachira aquatica</i>	Munguba	Malvaceae	x	x	x	x
<i>Psidium cattleianum</i>	Araça	Myrtaceae			x	x
<i>Schefflera morototoni</i>	Sambaqui	Araliaceae		x		
<i>Spathodea campanulata</i>	Spatodea	Bignoniaceae				x
<i>Syzygium cumini</i>	Azeitona	Myrtaceae	x			
<i>Tabebuia cassinoides</i>	Praiba	Bignoniaceae		x		x
<i>Ziziphus joazeiro</i>	Jua	Rhamnaceae	x			

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Da observância da Tabela 7 verifica-se uma predominância de espécies da família Fabaceae. Tais espécies, que são leguminosas, tem importância singular na recuperação de áreas degradadas no que diz respeito a sustentabilidade ecológica, por possuírem ampla ocorrência e adaptação nos biomas brasileiros e serem capazes de se associar simbioticamente a bactérias fixadoras de nitrogênio sendo, portanto, mais indicadas para aumentar o conteúdo de matéria orgânica em solos que passaram por processos de degradação ambiental mais

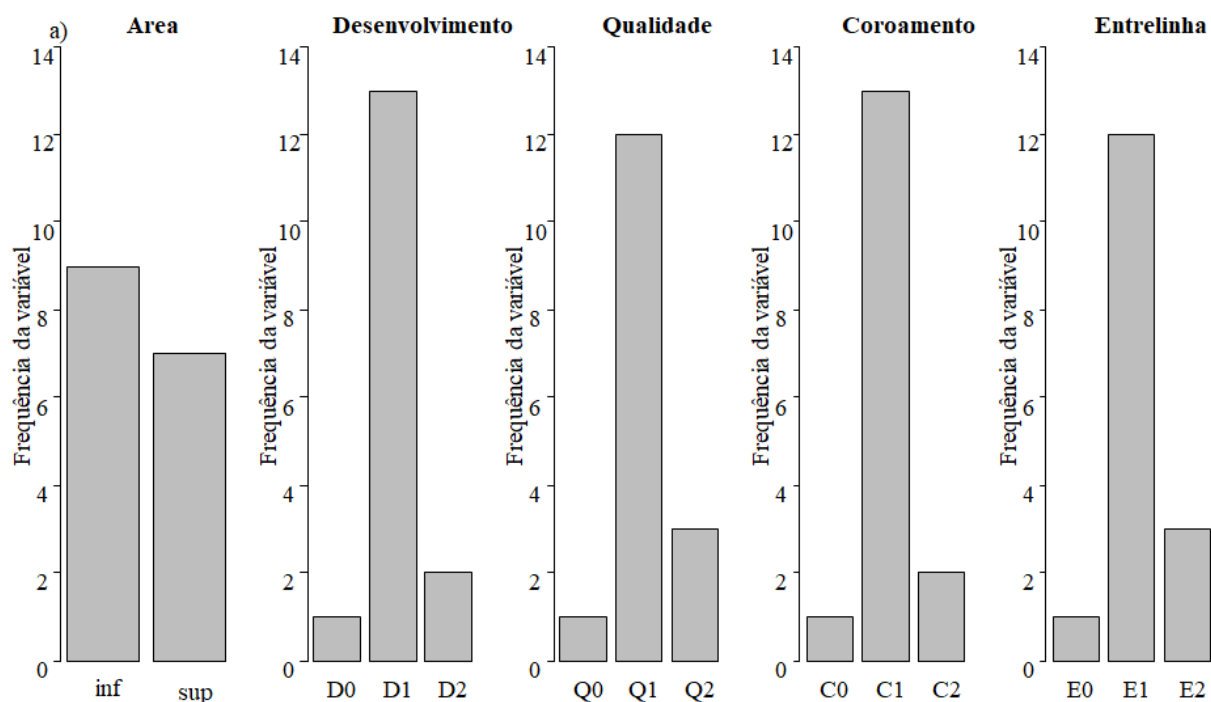
intensos em razão da implantação de atividades agrícolas e/ou pastoris (FRANCO; RESENDE; CAMPELLO, 2003).

O emprego predominante de espécies leguminosas, embora não tenha sido mencionado expressamente no PRAD (MORALES, 2014) é um processo importante dentro da estratégia de recuperação ambiental, quando se visa a recomposição da vegetação nativa em uma área degradada. Neste sentido, Jesus et. al. (2016) em uma avaliação de áreas de mineração situada no Agreste baiano reabilitadas por meio de um PRAD executado focado no plantio de espécies nativas e Ortiz (2017) em um experimento realizado em um projeto de restauração ecológica no interior de uma Unidade de Conservação localizado em São Paulo, com o emprego de reflorestamento com espécies nativas, relataram resultados efetivos, em termos de representatividade, com espécies de leguminosas para a recuperação de áreas degradadas.

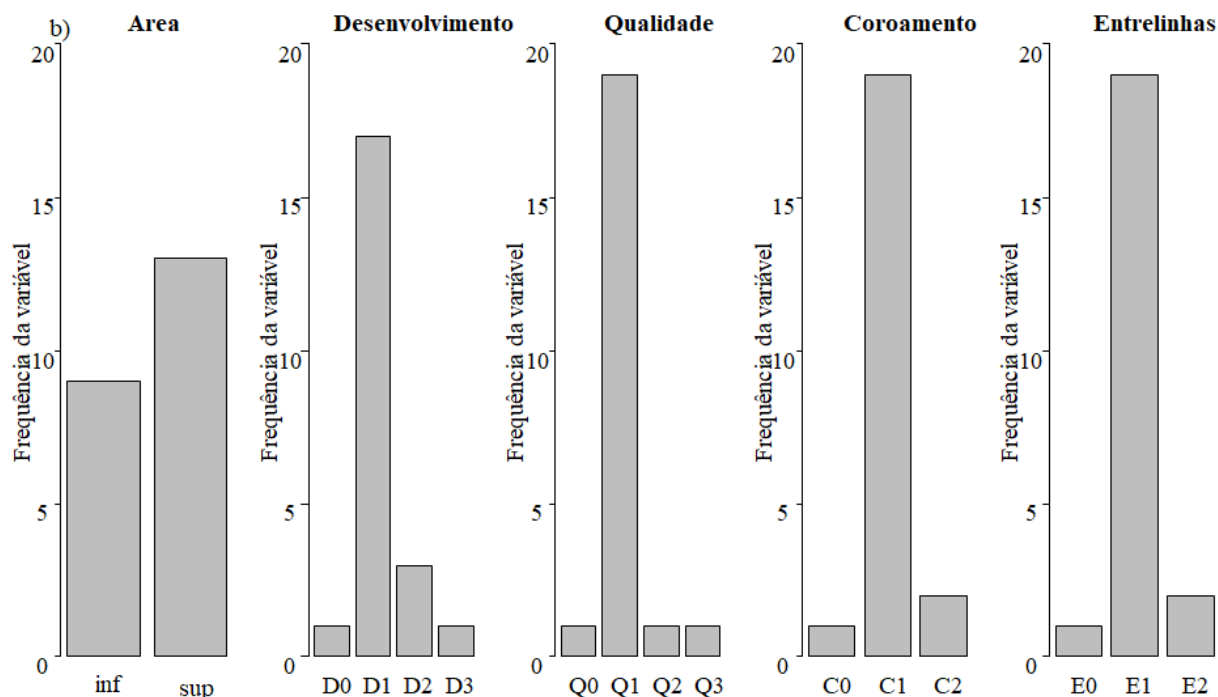
Um resumo estatístico das variáveis coletadas para a avaliação do PRAD em execução, realizadas em abril de 2016, e em março de 2018, podem ser visualizados na Figura 9. Gráficos obtidos da tabulação ordinal de dados categóricos (tabela cruzada), como as da Figura 9, é uma boa alternativa para inspecionar visualmente e computar sinteticamente descritores utilizados na avaliação do PRAD.

Os gráficos ilustrados na Figura 9 permitiram representar a distribuição das observações nas categorias de cada variável.

**Figura 8** - Distribuição das observações nas categorias\* de cada variável em que foram coletados dados, nas avaliações realizadas em a) abril de 2016 e b) em março de 2018 no PRAD em execução na Serra do Bituri, PE.







Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

\*Em que Sup: Unidade amostral situado acima da estrada, Inf: Unidade amostral situado abaixo da estrada, D1: Desenvolvimento considerado “Bom”, D2: Desenvolvimento considerado “Regular”, D3: Desenvolvimento considerado “Ruim”, Q1: Qualidade considerada “Boa”, Q2: Qualidade considerada “Regular”, Q3: Qualidade considerada “Ruim”, C1: Condições de coroamento considerado “Bom”, C2: Condições de coroamento considerado “Regular”, E1: Condições da entrelinha considerada “Boa”, E2: Condições da entrelinha considerada “Regular”.

A avaliação da execução do PRAD considerado “bom” foi predominante, sendo encontrada em 75% ou mais das observações verificadas, tanto na avaliação realizada em abril de 2016 quanto a realizada em março de 2018.

Para 2016 e 2017, contemplando grande parte do intervalo entre as duas avaliações realizadas, o cronograma físico do PRAD previa, para os meses de fevereiro, abril, agosto e outubro, atividades de manutenção florestal, tais como combate de formiga, limpeza e coroamento, replantio (esta, somente para o mês de abril), manutenção de cercas e aceiros e monitoramento do reflorestamento (MORALES, 2014).

Tais atividades, notadamente o replantio, podem ter sido a causa para o aumento de observações entre abril de 2016 e março de 2018, nas unidades amostrais situadas na seção superior da área onde se deu a implantação do PRAD em execução.

## 5.2 ANÁLISE DOS DADOS

A despeito de fornecer informações úteis sobre os dados, representações gráficas como as da Figura 9 não são capazes de prover informações sobre as relações que podem ocorrer entre os dados. Para identificação de possíveis relações que regem a recuperação ambiental de uma área sob a égide de um PRAD em execução, uma possibilidade é a representação gráfica

de observações e variáveis, de forma conjunta. Esta representação gráfica é possível graças ao emprego de medidas de distância que indique a proximidade entre observações e variáveis e permita a inspeção visual devida. Neste sentido, cada observação (linha) e variável categórica (coluna) pode ser representada por um ponto e a distância entre os pontos ( $D_{x_i^2}$ ) representam as relações que se deseja analisar (CARVALHO; STRUTINER, 1992).

Para os dados referentes a avaliação do PRAD ocorrida em abril de 2016, a Tabela 8 apresenta os valores de perfil linha, centroide de linhas e  $D_{x_i^2}$ , para as observações contidas nas linhas e a Tabela 9 apresenta os valores de perfil coluna, centroide de colunas e  $D_{x_i^2}$  para as variáveis organizadas nas colunas.

De acordo com Neves, Andraos, Barros (2012), quanto mais os perfis se distanciam do centroide, maior é a representatividade destes perfis em termos de variabilidade. Por consequência, estes perfis possuem maior importância relativa na constatação de relações de associação para estas observações e variáveis mencionadas em uma representação gráfica.

Para avaliação do PRAD realizada em abril de 2016, Falha apresentou a maior  $D_{x_i^2}$ . Neste caso, a “ausência” de resposta às variáveis categóricas, pelo simples fato de não ter sido coletado informações onde foi observado falha em campo acabou tornando este perfil de linha o mais disperso.

As observações do Juá (*Ziziphus joazeiro*), da Sucupira (*Bowdichia virgilioides*), da Piranha (*Loetia apetala*) e do Araçá2 (*Psidium cattleianum*) também apresentaram maiores valores de  $D_{x_i^2}$ . Estas observações foram as que apresentaram respostas “medianas” ora com variáveis categóricas relacionadas com o desenvolvimento vegetativo, ora com variáveis categóricas relacionadas com a matocompetição. Tais observações, que se destacaram por ter os valores relativos das observações mais diferentes em função das respostas às variáveis categóricas, são as que tendem a expressar tais associações com as variáveis categóricas as quais apresentaram tais respostas numa representação gráfica.

As variáveis que apresentaram maior valor de  $D_{x_i^2}$  foram D1, Q1, C1 e E1. Tais variáveis são relacionadas com o desenvolvimento vegetativo e a matocompetição satisfatórios e se destacaram justamente por ostentarem maiores quantidades de frequências relativas para variável categórica em função da distribuição das observações no enquadramento a estas variáveis. Neste caso, espera-se que tais variáveis categóricas possuam associações mais acentuadas com as observações que mais contribuíram para a frequência relativa destas variáveis, em uma representação gráfica.

**Tabela 8** – Perfis, centroide e  $D_{\chi^2_i}$  de linhas calculados para as observações referentes aos dados\* de avaliação do PRAD coletados em abril de 2016.

Espécie	inf	sup	D0	D1	D2	Q0	Q1	Q2	C0	C1	C2	E0	E1	E2	$D_{\chi^2_i}$
Araçá	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,381
Munguba	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,381
Tambor	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0,2	1,181
Embaúba	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,381
Praíba	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,381
Piranha	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,2	0	0	0,2	0	2,535
Araçá2	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	2,535
Quaresmeira	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,381
Munguba2	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,381
Tambor2	0	0,2	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0,2	0	0	0,2	0	1,283
Azeitona	0	0,2	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,483
Sucupira	0	0,2	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	2,637
Munguba3	0	0,2	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,483
Jua	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,2	0	0	0,2	0	2,637
Mulungu	0	0,2	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,483
Falha	0	0,2	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	12,257
<b>Centroide</b>	0,113	0,088	0,013	0,163	0,025	0,013	0,150	0,038	0,013	0,163	0,025	0,013	0,150	0,038	

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

\*Em que Sup: Unidade amostral situado acima da estrada, local de altitude mais elevada na área, Inf: Unidade amostral situado abaixo da estrada, local de mais baixa altitude na área, D1: Desenvolvimento considerado “Bom”, D2: Desenvolvimento considerado “Regular”, Q1: Qualidade considerada “Boa”, Q2: Qualidade considerada “Regular”, C1: Condições de coroamento considerado “Bom”, C2: Condições de coroamento considerado “Regular”, E1: Condições da entrelinha considerada “Boa”, E2: Condições da entrelinha considerada “Regular”,  $D_{\chi^2_i}$  é a distância de qui-quadrado calculado entre os perfis e o centroide.

**Tabela 9** – Perfis, centroide e  $D_{\chi^2_i}$  de colunas calculados para as variáveis categóricas referentes aos dados\* de avaliação do PRAD coletados em abril de 2016.

Espécie	inf	sup	D0	D1	D2	Q0	Q1	Q2	C0	C1	C2	E0	E1	E2	Centroide
Araçá	0,11	0	0	0,083	0	0	0,083	0	0	0,5	0	0	0,5	0	0,062
Munguba	0,14	0	0	0,333	0	0	0,33	0	0	1	0	0	1	0	0,062
Tambor	1	0	0	1	0	0	0,11	0	0	0,083	0	0	0	0,11	0,062
Embaúba	0,077	0	0	0,077	0	0	0,14	0	0	0,33	0	0	0,33	0	0,062
Praíba	0,5	0	0	0,5	0	0	1	0	0	1	0	0	0,11	0	0,062
Piranha	1	0	0	0	0,33	0	0	1	0	0,077	0	0	0,14	0	0,062
Araçá2	0,083	0	0	0,083	0	0	0,5	0	0	0	0,083	0	0	0,5	0,062
Quaresmeira	0,33	0	0	0,333	0	0	1	0	0	1	0	0	0,08	0	0,062
Munguba2	1	0	0	0,111	0	0	0,083	0	0	0,08	0	0	0,5	0	0,062
Tambor2	0	1	0	0,143	0	0	0	0,077	0	0,33	0	0	1	0	0,062
Azeitona	0	0,083	0	1	0	0	1	0	0	0,11	0	0	0,08	0	0,062
Sucupira	0	0,333	0	0,077	0	0	0,077	0	0	0,00	0,077	0	0	0,08	0,062
Munguba3	0	0,111	0	0,5	0	0	0,5	0	0	1	0	0	1	0	0,062
Jua	0	0,143	0	0	0,33	0	0	0,333	0	0,08	0	0	0,08	0	0,062
Mulungu	0	1	0	0,083	0	0	0,083	0	0	0,5	0	0	0,5	0	0,062
Falha	0	0,077	1	0	0	1	0	0	0,077	0	0	0,077	0	0	0,062
$D_{\chi^2_i}$	47,01	30,01	15	36,95	3,22	15	49,90	16,05	0,94	64,97	0,89	0,94	52,95	3,92	

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

\*Em que Sup: Unidade amostral situado acima da estrada, local de altitude mais elevada na área, Inf: Unidade amostral situado abaixo da estrada, local de mais baixa altitude na área, D1: Desenvolvimento considerado “Bom”, D2: Desenvolvimento considerado “Regular”, Q1: Qualidade considerada “Boa”, Q2: Qualidade considerada “Regular”, C1: Condições de coroamento considerado “Bom”, C2: Condições de coroamento considerado “Regular”, E1: Condições da entrelinha considerada “Boa”, E2: Condições da entrelinha considerada “Regular”,  $D_{\chi^2_i}$  é a distância de qui-quadrado calculado entre os perfis e o centroide.

**Tabela 10** – Perfis, centroide e  $D_{\chi^2_i}$  de linhas calculados para as observações referentes aos dados\* de avaliação do PRAD coletados em março de 2018.

Espécie	inf	sup	D0	D1	D2	D3	Q0	Q1	Q2	Q3	C0	C1	C2	E0	E1	E2	$D_{\chi^2_i}$
Munguba	0	0,2	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,292
Munguba2	0	0,2	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,292
Munguba3	0	0,2	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,292
Falha	0	0,2	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	16,938
Munguba4	0	0,2	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,292
Praíba	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	1,500
Jua	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0,2	0	0	0,2	0	8,602
Munguba5	0	0,2	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,292
Piranha	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	1,500
Munguba6	0	0,2	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,292
Jatobá	0	0,2	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,292
Embaúba	0	0,2	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0,2	0	0	0,2	4,229
Embaúba2	0	0,2	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0,2	0	0	0,2	4,229
Spatodea	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,442
Munguba7	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,442
Praíba2	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,442
Jatobá2	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,442
Araçá	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0,2	0	5,819
Araçá2	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,442
Praíba3	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,442
Tambor	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,442
Melastomataceae	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0,442
<b>Centroide</b>	0,082	0,118	0,009	0,155	0,027	0,009	0,009	0,173	0,009	0,009	0,009	0,173	0,018	0,009	0,173	0,018	

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

\*Em que Sup: Unidade amostral situado acima da estrada, Inf: Unidade amostral situado abaixo da estrada, D1: Desenvolvimento considerado “Bom”, D2: Desenvolvimento considerado “Regular”, D3: Desenvolvimento considerado “Ruim”, Q1: Qualidade considerada “Boa”, Q2: Qualidade considerada “Regular”, Q3: Qualidade considerada “Ruim”, C1: Condições de coroamento considerado “Bom”, C2: Condições de coroamento considerado “Regular”, C3: Condições de coroamento considerado “Ruim”, E1: Condições da entrelinha considerada “Boa”, E2: Condições da entrelinha considerada “Regular”, E3: Condições da entrelinha considerada “Ruim”,  $D_{\chi^2_i}$  é a distância de qui-quadrado calculado entre os perfis e o centroide.

**Tabela 11** – Perfis, centroide e D<sup>2</sup>qui de colunas calculados para as variáveis categóricas referente aos dados\* de avaliação do PRAD coletados em março de 2018.

SSP	inf	sup	D0	D1	D2	D3	Q0	Q1	Q2	Q3	C0	C1	C2	E0	E1	E2	Centroide
Munguba	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0,333	0	0,045
Munguba2	0	0,053	0	0,059	0	0	0	0,053	0	0	0	0,059	0	0	1	0	0,045
Munguba3	0	1	0	0,333	0	0	0	0,5	0	0	0	0,333	0	0	1	0	0,045
Falha	0	1	0,5	0	0	0	0,053	0	0	0	0,5	0	0	0,077	0	0	0,045
Munguba4	0	1	0	1	0	0	0	0,053	0	0	0	1	0	0	1	0	0,045
Praíba	0	0,053	0	0	1	0	0	0,5	0	0	0	0,053	0	0	1	0	0,045
Jua	0	0,5	0	0	0	0,333	0	0	0	0,5	0	1	0	0	1	0	0,045
Munguba5	0	1	0	1	0	0	0	0,077	0	0	0	1	0	0	0,053	0	0,045
Piranha	0	0,053	0	0	0,111	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0,5	0	0,045
Munguba6	0	0,5	0	0,053	0	0	0	0,059	0	0	0	0,053	0	0	1	0	0,045
Jatobá	0	0,111	0	0,5	0	0	0	0,333	0	0	0	0,5	0	0	0,053	0	0,045
Embaúba	0	0,077	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0,059	0	0	1	0,045
Embaúba2	0	1	0	0,053	0	0	0	1	0	0	0	0	0,333	0	0	1	0,045
Spatodea	1	0	0	0,5	0	0	0	0,053	0	0	0	0,5	0	0	0,077	0	0,045
Munguba7	0,053	0	0	0,111	0	0	0	1	0	0	0	0,111	0	0	1	0	0,045
Praíba2	0,5	0	0	0,077	0	0	0	1	0	0	0	0,077	0	0	0,059	0	0,045
Jatobá2	0,111	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0,333	0	0,045
Araçá	0,077	0	0	0	1	0	0	0	0,077	0	0	0,059	0	0	1	0	0,045
Araçá2	1	0	0	0,333	0	0	0	0,5	0	0	0	0,333	0	0	1	0	0,045
Praíba3	0,059	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0,053	0	0,045
Tambor	0,333	0	0	1	0	0	0	0,053	0	0	0	1	0	0	1	0	0,045
Melastomataceae	1	0	0	0,053	0	0	0	0,5	0	0	0	0,053	0	0	1	0	0,045
$D_{\chi^2_i}$	67,21	129,89	5,5	153,41	41,05	2,78	0,95	180,53	0,97	5,5	5,5	173,36	2,73	0,97	228,85	41	

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Em que Sup: Unidade amostral situado acima da estrada, Inf: Unidade amostral situado abaixo da estrada, D1: Desenvolvimento considerado “Bom”, D2: Desenvolvimento considerado “Regular”, D3: Desenvolvimento considerado “Ruim”, Q1: Qualidade considerada “Boa”, Q2: Qualidade considerada “Regular”, Q3: Qualidade considerada “Ruim”, C1: Condições de coroamento considerado “Bom”, C2: Condições de coroamento considerado “Regular”, C3: Condições de coroamento considerado “Ruim”, E1: Condições da entrelinha considerada “Boa”, E2: Condições da entrelinha considerada “Regular”, E3: Condições da entrelinha considerada “Ruim”,  $D_{\chi^2_i}$  é a distância de qui-quadrado calculado entre os perfis e o centroide.

As variáveis categóricas relacionadas com a área (inf e sup) também apresentaram valores considerados altos de  $D_{\chi^2_i}$ . Contudo, não são variáveis tidas como determinante na aferição do grau e da efetividade do PRAD avaliado, muito embora possam ser úteis para prover informações complementares a respeito de algum aspecto ou situação particular porventura observado durante a avaliação do PRAD.

Com relação a avaliação do PRAD ocorrida em março de 2018, a Tabela 10 apresenta os valores de perfil linha, centroide de linhas e  $D_{\chi^2_i}$ , para as observações contidas nas linhas e a Tabela 11 ilustra os valores de perfil coluna, centroide de colunas e  $D_{\chi^2_i}$  para as variáveis organizadas nas colunas.

Para a avaliação do PRAD realizada em março de 2018, o padrão observado para Falha na primeira avaliação se repetiu, como a observação que apresentou maior  $D^2_{\text{qui}}$ . A observação Juá (*Ziziphus joazeiro*) possuiu alto  $D_{\chi^2_i}$  por ter apresentado respostas consideradas ruins a variáveis relacionadas ao desenvolvimento vegetativo. As observações Piranha (*Loetia apetala*), Araçá2 (*Psidium cattleyanum*) e Praíba (*Tabebuia cassinoides*) responderam de maneira mediana às variáveis relacionadas com o desenvolvimento vegetativo e duas observações de Embaúba (*Cecropia pachystachia*) apresentaram respostas consideradas regulares a variáveis afetas à avaliação da matocompetição. Desta forma, é de se esperar que tais observações tendem a possuir associações mais acentuadas com as variáveis categóricas as quais apresentaram tais respostas, em uma representação gráfica.

No caso das variáveis de maior  $D_{\chi^2_i}$  para os dados da avaliação do PRAD coletado em março de 2018, o comportamento foi semelhante ao apresentado para os dados da primeira avaliação, realizada em abril de 2016, em que as variáveis inerentes à avaliação satisfatória do desenvolvimento vegetativo e da matocompetição foram as que apresentaram as maiores quantidades de frequências relativas, tendo em vista que a maior parte das observações se distribuíram respondendo satisfatoriamente a estas respectivas variáveis.

Considerando a característica dos dados do presente trabalho de possuírem mais linhas que colunas, a representação gráfica poderia ser construída com os perfis linha plotados como pontos em relação às variáveis categóricas dispostas nas colunas (INFANTOSI; COSTA; ALMEIDA, 2014). Aplicando-se o modelo desta maneira, visando a inspeção visual das relações, perfis linha, depois de ponderados pelos elementos do centroide de linhas (NEVES; ANDRAOS; BARROS, 2012) seriam plotados em um espaço simplex em que as coordenadas dos vértices seriam definidos pelas colunas (GREENACRE, 2007).

Considerando o exposto e tomando como exemplo os perfis linha referente aos dados de avaliação do PRAD coletados em abril de 2016, o simplex a ser construído teria que abarcar as coordenadas das doze variáveis categóricas como vértices para representar os pontos dos dezesseis perfis linha das observações. Devido a complexidade da construção desta representação gráfica, sua inspeção visual torna-se inviável.

Para contornar este problema, Carvalho; Strutiner, (1992) menciona que esta nuvem de pontos pode ser projetada em planos que são selecionados pela capacidade de se preservar a distância entre os pontos e desta forma refletir o mais próximo possível as relações entre as variáveis e as observações.

A alternativa, neste sentido, tem sido determinar uma nova origem para um subespaço de menor dimensão (um plano por exemplo), tendo, dessa maneira, segundo Infantosi, Costa, Almeida (2014), uma imagem simplificada da estrutura multidimensional que neste caso representa os dados coletados das avaliações de PRAD realizadas.

A análise de correspondência analisa os perfis linhas (ou colunas) a partir do cálculo de autovalores e autovetores, calculados sobre uma matriz de coeficientes com medidas que indicam semelhança, obtida a partir de uma matriz de dados transformada denominada de matriz **Q** (LEGENDRE; LEGENDRE, 1998; VALENTIN, 2000). Cabe destacar que a matriz **Q**, neste caso, é uma medida que quantifica o grau de associação (VALENTIM, 2000) entre os indivíduos amostrados e as variáveis que expressam o resultados das atividades de manutenção florestal.

A matriz **Q** derivada da matriz de dados na forma binária, coletados na avaliação do PRAD em execução em abril de 2016 e em março de 2018 encontram-se dispostos nas Tabelas 12 e 13 respectivamente. Valores positivos indicam atração (associação positiva) do elemento correspondente a observação da linha *i* e variável da coluna *j* enquanto que valores negativos implicam em repulsão (associação negativa) do elemento correspondente a observação da linha *i* e a variável da coluna *j* (KASSAMBARA, 2017).

Na Tabela **12** verifica-se uma atração um pouco mais forte entre as observações Piranha (*Loetia apetala*) e Jua (*Ziziphus joazeiro*) com as variáveis D2 e Q2 sugerindo que pode existir uma associação positiva dessas espécies com variáveis de avaliação do PRAD que indicam desenvolvimento moderado da vegetação. Outra atração um pouco mais forte que se verifica é entre as observações Araçá (*Psidium cattleianum*) e Sucupira (*Bowdichia virgilioides*) com as variáveis C2 e E2 sugerindo que pode existir uma associação também positiva dessas espécies com variáveis de avaliação do PRAD que indicam matocompetição moderada da vegetação.



**Tabela 12** – Matriz **Q** para os dados\* coletados na avaliação do PRAD em execução em abril de 2016.

Espécie	D0	D1	D2	Q0	Q1	Q2	C0	C1	C2	E0	E1	E2	Inf	Sup
Araçá	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	0,065	-0,074
Munguba	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	0,065	-0,074
Tambor	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	-0,108	<b>0,235</b>	0,065	-0,074
Embaúba	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	0,065	-0,074
Praíba	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	0,065	-0,074
Piranha	-0,031	-0,113	<b>0,309</b>	-0,031	-0,108	<b>0,235</b>	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	0,065	-0,074
Araçá2	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	-0,031	-0,113	<b>0,309</b>	-0,031	-0,108	<b>0,235</b>	0,065	-0,074
Quaresmeira	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	0,065	-0,074
Munguba2	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	0,065	-0,074
Tambor2	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	-0,108	<b>0,235</b>	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	-0,084	0,095
Azeitona	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	-0,084	0,095
Sucupira	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	-0,031	-0,113	<b>0,309</b>	-0,031	-0,108	<b>0,235</b>	-0,084	0,095
Munguba3	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	-0,084	0,095
Jua	-0,031	-0,113	<b>0,309</b>	-0,031	-0,108	<b>0,235</b>	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	-0,084	0,095
Mulungu	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	-0,031	0,026	-0,044	-0,031	0,036	-0,054	-0,084	0,095
Falha	<b>0,469</b>	-0,113	-0,044	<b>0,469</b>	-0,108	-0,054	<b>0,469</b>	-0,113	-0,044	<b>0,469</b>	-0,108	-0,054	-0,084	0,095

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

\*Em que D1: Desenvolvimento considerado “Bom”, D2: Desenvolvimento considerado “Regular”, Q1: Qualidade considerada “Boa”, Q2: Qualidade considerada “Regular”, C1: Condições de coroamento considerado “Bom”, C2: Condições de coroamento considerado “Regular”, E1: Condições da entrelinha considerada “Boa”, E2: Condições da entrelinha considerada “Regular”, Sup: Unidade amostral situado acima da estrada, local de altitude mais elevada na área, Inf: Unidade amostral situado abaixo da estrada, local de mais baixa altitude na área.

**Tabela 13** – Matriz Q para os dados\* coletados na avaliação do PRAD em execução em março de 2018.

<b>Espécies</b>	<b>D0</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>Q0</b>	<b>Q1</b>	<b>Q2</b>	<b>Q3</b>	<b>C0</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>E0</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>Inf</b>	<b>Sup</b>
Munguba	-0,020	0,025	-0,035	-0,020	-0,020	0,014	-0,020	-0,020	-0,020	0,014	-0,029	-0,020	0,014	-0,029	-0,061	0,051
Munguba2	-0,020	0,025	-0,035	-0,020	-0,020	0,014	-0,020	-0,020	-0,020	0,014	-0,029	-0,020	0,014	-0,029	-0,061	0,051
Munguba3	-0,020	0,025	-0,035	-0,020	-0,020	0,014	-0,020	-0,020	-0,020	0,014	-0,029	-0,020	0,014	-0,029	-0,061	0,051
Falha	<b>0,427</b>	-0,084	-0,035	-0,020	<b>0,427</b>	-0,089	-0,020	-0,020	<b>0,427</b>	-0,089	-0,029	<b>0,427</b>	-0,089	-0,029	-0,061	0,051
Munguba4	-0,020	0,025	-0,035	-0,020	-0,020	0,014	-0,020	-0,020	-0,020	0,014	-0,029	-0,020	0,014	-0,029	-0,061	0,051
Praíba	-0,020	-0,084	<b>0,223</b>	-0,020	-0,020	0,014	-0,020	-0,020	-0,020	0,014	-0,029	-0,020	0,014	-0,029	-0,061	0,051
Jua	-0,020	-0,084	-0,035	<b>0,427</b>	-0,020	-0,089	-0,020	<b>0,427</b>	-0,020	0,014	-0,029	-0,020	0,014	-0,029	-0,061	0,051
Munguba5	-0,020	0,025	-0,035	-0,020	-0,020	0,014	-0,020	-0,020	-0,020	0,014	-0,029	-0,020	0,014	-0,029	-0,061	0,051
Piranha	-0,020	-0,084	<b>0,223</b>	-0,020	-0,020	0,014	-0,020	-0,020	-0,020	0,014	-0,029	-0,020	0,014	-0,029	-0,061	0,051
Munguba6	-0,020	0,025	-0,035	-0,020	-0,020	0,014	-0,020	-0,020	-0,020	0,014	-0,029	-0,020	0,014	-0,029	-0,061	0,051
Jatobá	-0,020	0,025	-0,035	-0,020	-0,020	0,014	-0,020	-0,020	-0,020	0,014	-0,029	-0,020	0,014	-0,029	-0,061	0,051
Embaúba	-0,020	0,025	-0,035	-0,020	-0,020	0,014	-0,020	-0,020	-0,020	-0,089	<b>0,288</b>	-0,020	-0,089	<b>0,288</b>	-0,061	0,051
Embaúba2	-0,020	0,025	-0,035	-0,020	-0,020	0,014	-0,020	-0,020	-0,020	-0,089	<b>0,288</b>	-0,020	-0,089	<b>0,288</b>	-0,061	0,051
Spatodea	-0,020	0,025	-0,035	-0,020	-0,020	0,014	-0,020	-0,020	-0,020	0,014	-0,029	-0,020	0,014	-0,029	0,088	-0,073
Munguba7	-0,020	0,025	-0,035	-0,020	-0,020	0,014	-0,020	-0,020	-0,020	0,014	-0,029	-0,020	0,014	-0,029	0,088	-0,073
Praíba2	-0,020	0,025	-0,035	-0,020	-0,020	0,014	-0,020	-0,020	-0,020	0,014	-0,029	-0,020	0,014	-0,029	0,088	-0,073
Jatobá2	-0,020	0,025	-0,035	-0,020	-0,020	0,014	-0,020	-0,020	-0,020	0,014	-0,029	-0,020	0,014	-0,029	0,088	-0,073
Araçá	-0,020	-0,084	<b>0,223</b>	-0,020	-0,020	-0,089	<b>0,427</b>	-0,020	-0,020	0,014	-0,029	-0,020	0,014	-0,029	0,088	-0,073
Araçá2	-0,020	0,025	-0,035	-0,020	-0,020	0,014	-0,020	-0,020	-0,020	0,014	-0,029	-0,020	0,014	-0,029	0,088	-0,073
Praíba3	-0,020	0,025	-0,035	-0,020	-0,020	0,014	-0,020	-0,020	-0,020	0,014	-0,029	-0,020	0,014	-0,029	0,088	-0,073
Tambor	-0,020	0,025	-0,035	-0,020	-0,020	0,014	-0,020	-0,020	-0,020	0,014	-0,029	-0,020	0,014	-0,029	0,088	-0,073
Melastomataceae	-0,020	0,025	-0,035	-0,020	-0,020	0,014	-0,020	-0,020	-0,020	0,014	-0,029	-0,020	0,014	-0,029	0,088	-0,073

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

\*Em que D1: Desenvolvimento considerado “Bom”, D2: Desenvolvimento considerado “Regular”, D3: Desenvolvimento considerado “Ruim”, Q1: Qualidade considerada “Boa”, Q2: Qualidade considerada “Regular”, Q3: Qualidade considerada “Ruim”, C1: Condições de coroamento considerado “Bom”, C2: Condições de coroamento considerado “Regular”, E1: Condições da entrelinha considerada “Boa”, E2: Condições da entrelinha considerada “Regular”, Sup: Unidade amostral situado acima da estrada, Inf: Unidade amostral situado abaixo da estrada.

A espécie Tambor (*Enterolobium contortisiliquum*) apresentou uma observação com atração mais significativa com a variável categórica atrelada à matocompetição regular nas entrelinhas e outra com atração mais forte com a variável categórica vinculado à qualidade considerado regular. Forte atração positiva também foi observada quando se verificou ausência de coleta de dados onde foi observado falha de plantio em campo.

Na Tabela 13, por sua vez, verifica-se comportamento semelhante à avaliação realizada em abril de 2016, em termos de atração positiva, com relação a ausência de coleta de dados onde foi observado falha de plantio em campo. Como o perfil linhas desta observação foi mais disperso nas duas avaliações realizadas, era de se esperar que expressasse este comportamento de atração um pouco mais forte observado.

Também se observou uma atração um pouco mais forte entre as observações Praíba (*Tabebuia cassinoides*), Piranha (*Loetia apetala*) e Araçá (*Psidium cattleianum*) com a variável D2 que representa porte moderado, sendo que Araçá (*Psidium cattleianum*) também apresentou forte atração com a variável que se refere a condição fitossanitária considerada regular. Este resultado sugere que pode existir uma associação positiva destas observações com variáveis de avaliação do PRAD que indicam desenvolvimento moderado da vegetação.

Também foi observado uma atração um pouco mais forte entre Juá (*Ziziphus joazeiro*) com variáveis que expressam o desenvolvimento considerado ruim. Esta observação havia apresentado, na primeira avaliação, atração com variáveis que denotam o desenvolvimento vegetativo regular da vegetação.

As duas observações de Embaúba (*Cecropia pachystachia*) também apresentaram atração mais forte com variáveis que exprimem matocompetição moderada da vegetação, sugerindo existir associação positiva destas observações com variáveis de avaliação do PRAD que indicam matocompetição moderada da vegetação.

As variáveis categóricas D1 e Q1, que sinalizam bom desenvolvimento da vegetação, e E1 e C1, que representam bom nível de matocompetição, não apresentaram valores que indicam atração ou repulsão considerada forte nas duas avaliações realizadas, conforme se verifica tanto na Tabela 12 quanto na Tabela 13. Todavia estas variáveis categóricas foram as que apresentaram maiores valores de  $D_{\chi^2_i}$ , conforme apresentado nas Tabelas 9 e 11. Este comportamento pode ser característico de variáveis que apresentam coocorrência com muitas observações, situação que pode indicar a principal relação que rege a estrutura do PRAD avaliado em execução.

As variáveis categóricas relacionadas com a área não apresentaram atração ou repulsão considerada forte com nenhuma das observações, porém apresentaram valores de  $D_{\chi^2_i}$  expressivos, tanto para os dados coletados na avaliação do PRAD realizada em abril de 2016 quanto para os dados coletados na avaliação do PRAD realizada em março de 2018. A variável área não é necessariamente uma variável utilizada para avaliar o PRAD em execução. Por este motivo, tal variável não tem um papel “ativo” na definição do espaço da representação gráfica (CARVALHO; STRUTINER, 1992). Todavia, após a definição dos eixos, a variável área pode ser incluída na análise como suplementar, por razão tal como ser uma variável que pode ser utilizada para enriquecer a interpretação dos dados (INFANTOSI; COSTA; ALMEIDA, 2014).

Kassambara (2017) recomenda que para interpretar análise de correspondência, o primeiro passo é avaliar a associação entre linhas e colunas. Neste sentido, o ponto de partida é o conceito de inércia total, que mede, de maneira generalizada, a variação do perfil em relação ao centroide (NEVES; ANDRAOS; BARROS, 2012) além de se relacionar com a estatística do  $\chi^2_i$  pela soma total de elementos da matriz **Z** (MINGOTI, 2005).

O valor da inércia total pode ser obtido pela soma do quadrado dos elementos da matriz **Q** ou pela soma dos autovalores (LEGENDRE; LEGENDRE, 1998). Assim, a inércia total para os dados coletados na avaliação do PRAD realizada em abril de 2016 é igual a 2. Este valor representa toda a variabilidade computada mediante a soma da diferença entre os valores de frequência observada e esperada dos elementos de perfil, para os dados referente a avaliação do PRAD realizada em abril de 2016.

Para os dados coletados na avaliação do PRAD realizada em março de 2018 o valor calculado foi de 2,5. Guimaraes (2015) em trabalho semelhante de avaliação de um projeto de restauração florestal implantado em área da Mata Atlântica Nordeste em Pernambuco, encontrou um valor de inércia total igual a 2,91. Valores maiores de inércia total são indicativos de maior variabilidade dos dados (NEVES; ANDRAOS; BARROS, 2012) e, por consequência, maior a possibilidade de haver dependência entre linhas e colunas (INFANTOSI; COSTA; ALMEIDA, 2014).

O grau de dependência ou associação entre linhas e colunas pode ser avaliado por meio do coeficiente de contingência, com o auxílio da estatística de qui-quadrado. Baseado na relação com a inércia total, conforme a expressão (18), obteve-se a estatística do qui-quadrado no valor de 128, obtido para os dados coletados na avaliação do PRAD realizada em abril de 2016. Para os dados coletados na avaliação do PRAD realizada em março de 2018 o valor do qui-quadrado encontrado foi de 160. De maneira análoga ao disposto para a inércia, conforme Infantosi;

Costa; Almeida (2014), maiores valores de qui-quadrado são devidos a maior a dispersão entre valores observados e esperados e, por consequência, maior é a dependência ou associação entre linhas e colunas.

Com esses valores de estatística do qui-quadrado, encontrou-se valores para o coeficiente de contingência de 0,85 para os dados da avaliação do PRAD realizada em abril de 2016 e de 0,83 para os dados da avaliação do PRAD realizada em março de 2018. Tais valores indicam um grau de dependência que pode ser considerado forte entre linhas e colunas.

Guimarães (2015) computou um valor da estatística de qui-quadrado de 11017,26. Com base nas informações disponíveis, calculou-se um valor de coeficiente de contingência de 0,87.

Tais resultados indicam uma associação forte entre os indivíduos amostrados das espécies florestais plantadas na fase de implantação florestal e as ações de manejo silvicultural executadas na fase de manutenção florestal para conduzir o reflorestamento. Esta associação revela que o estabelecimento da vegetação nativa depende das atividades de manejo silvicultural baseado em intervenções humanas para sua manutenção, pois aparentemente as espécies florestais não atingiram um estágio de regeneração tal que possibilitasse a dispensa das intervenções relacionadas à fase de manutenção florestal.

Como visto, a mediante a aplicação do coeficiente de contingência, é constatado a existência de relações entre linhas e colunas, mas sem qualquer indício de como são estas relações. Este papel de revelar como as variáveis e as observações estão relacionadas, pode ser atribuído a Análise de Correspondência por meio do manejo de autovalores e autovetores.

Os autovalores derivam dos valores singulares obtidos da aplicação da DVS nas matrizes **Q** tanto para os dados coletados na avaliação do PRAD em execução em abril de 2016 quanto em março de 2018, cujos resultados encontram-se dispostos na Tabela 14.

**Tabela 14** – Valores singulares da decomposição da matriz **Q** para os dados coletados na avaliação do PRAD em execução em abril de 2016 e em março de 2018.

Avaliação	Eixos													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Abr – 2016	1	0,739	0,589	0,235	0,228	0	0	0	0	0	0	0		
Mar – 2018	1	0,739	0,69	0,603	0,336	0	0	0	0	0	0	0	0	0

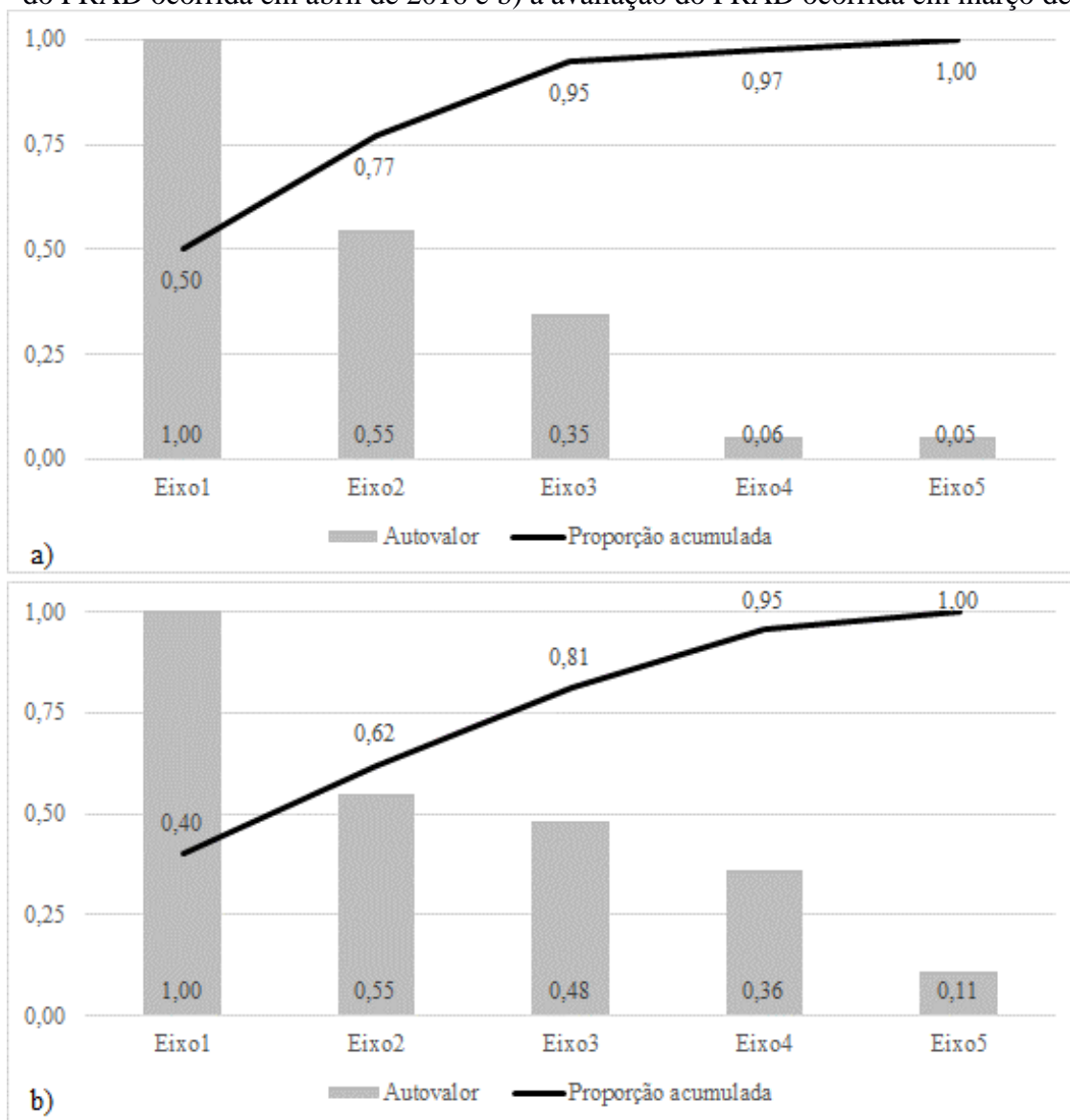
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A geração de valores nulos pela DVS aplicada à matriz **Q** tem a ver com a condensação da informação dos perfis que possuem menor variabilidade, causando um efeito de minimização dos valores dos elementos da tabela de dados com menor frequência (NEVES; ANDRAOS; BARROS, 2012). A consequência é que a minimização da soma de quadrados que tem

justamente a ver com a decomposição da inércia total em dimensões (eixos) que melhor explique a variabilidade dos dados (GONÇALVES; SANTOS, 2009). Desta maneira, toda a variabilidade computada pela inercia total, tanto para a avaliação do PRAD realizada em abril de 2016 e a realizada em março de 2018 podem ser representadas por cinco eixos de dispersão, ante os doze e quatorze eixos, respectivamente, prévios à análise de correspondência.

Os eixos de dispersão são representados pelos autovalores que são derivados dos valores singulares obtidos da DVS aplicada nas matrizes Q e juntamente com os autovetores, definem as relações que existe entre linhas e colunas. A Figura 10 ilustra os autovalores que foram obtidos para os dados coletados na avaliação do PRAD ocorrida em abril de 2016 e em março de 2018, respectivamente.

**Figura 9** – Autovalores e porcentagem acumulada da variância explicada para: a) a avaliação do PRAD ocorrida em abril de 2016 e b) a avaliação do PRAD ocorrida em março de 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Conforme se observa, para explicar toda a variabilidade dos dados, são necessários cinco eixos ou dimensões, tanto para a avaliação do PRAD ocorrida em abril de 2016 quanto para a avaliação do PRAD ocorrida em março de 2018.

Para a inspeção visual por meio da representação gráfica em planos, no presente estudo, há uma perda de qualidade na explicação dos dados, sendo que no caso da Figura 10a os dois primeiros eixos representam 77% da inércia total dos dados correspondentes a avaliação do PRAD realizada em abril de 2016, sendo que o primeiro eixo responde por 50% da variação total dos dados e o segundo eixo por cerca de 27%. No caso da Figura 10b, os dois primeiros eixos representam 62% da inércia total dos dados relativo a avaliação do PRAD realizada em março de 2018, em que o primeiro eixo responde por 40% da variação total dos dados e o segundo por cerca de 22%.

Tal diferença tem como uma das razões o fato de que os dados coletados na avaliação do PRAD realizada em março de 2018 apresentaram um valor maior de inércia total, que representa uma variabilidade maior dos dados. Como consequência, a inércia acabou se distribuindo de maneira mais equilibrada entre os quatro primeiros eixos, que somaram 95% da inércia total, diferente do gráfico ilustrado na Figura 10a, onde já foi possível obter 95% da inércia total com os três primeiros eixos. Desta maneira, os dois primeiros eixos da Figura 10b acabou tendo uma importância relativa menor que os dois primeiros eixos da Figura 10a.

A situação mencionada acima pode ser expressão de duas constatações observadas entre as duas avaliações de PRAD realizadas: (i) o número de observações maior da avaliação realizada em março de 2018 tendo em vista a coleta ter sido realizada nos mesmos locais que a coleta ocorrida em abril de 2016, devido aparentemente a replantios previstos no PRAD e supostamente realizados durante a execução da fase de manutenção florestal; e (ii) os dados coletados na avaliação realizada em 2018 apresentaram maior variabilidade das variáveis que os dados coletados em abril de 2016, situação que pode ser atribuída aos fato de os indivíduos extras coletados na avaliação de 2018, provavelmente não estarem no mesmo patamar em termos de desenvolvimento vegetativo que os indivíduos já estabelecidos tendo sido, portanto, avaliados de maneira inferior que os demais.

De acordo com Valentim (2000), os eixos de dispersão são definidos por fatores que são responsáveis por determinar uma estrutura. No caso em tela, os eixos de dispersão são definidos pelos indivíduos amostrados das espécies florestais plantados na fase de implantação florestal (observações) e pelas variáveis categóricas que refletem as ações de manejo silvicultural executadas na fase de manutenção florestal para conduzir o reflorestamento, que determinam o andamento da execução do PRAD, nas duas épocas distintas avaliadas.

A análise dos autovetores permite identificar as observações e as variáveis categóricas que mais contribuíram para a variabilidade dos eixos de dispersão (BERTONCELO, 2016). A Figura 11 ilustram a importância das observações (a) e das variáveis categóricas (b) para a variabilidade do primeiro eixo e das observações (c) e variáveis categóricas (d) para o segundo eixo, referente a avaliação do PRAD realizada em abril de 2016.

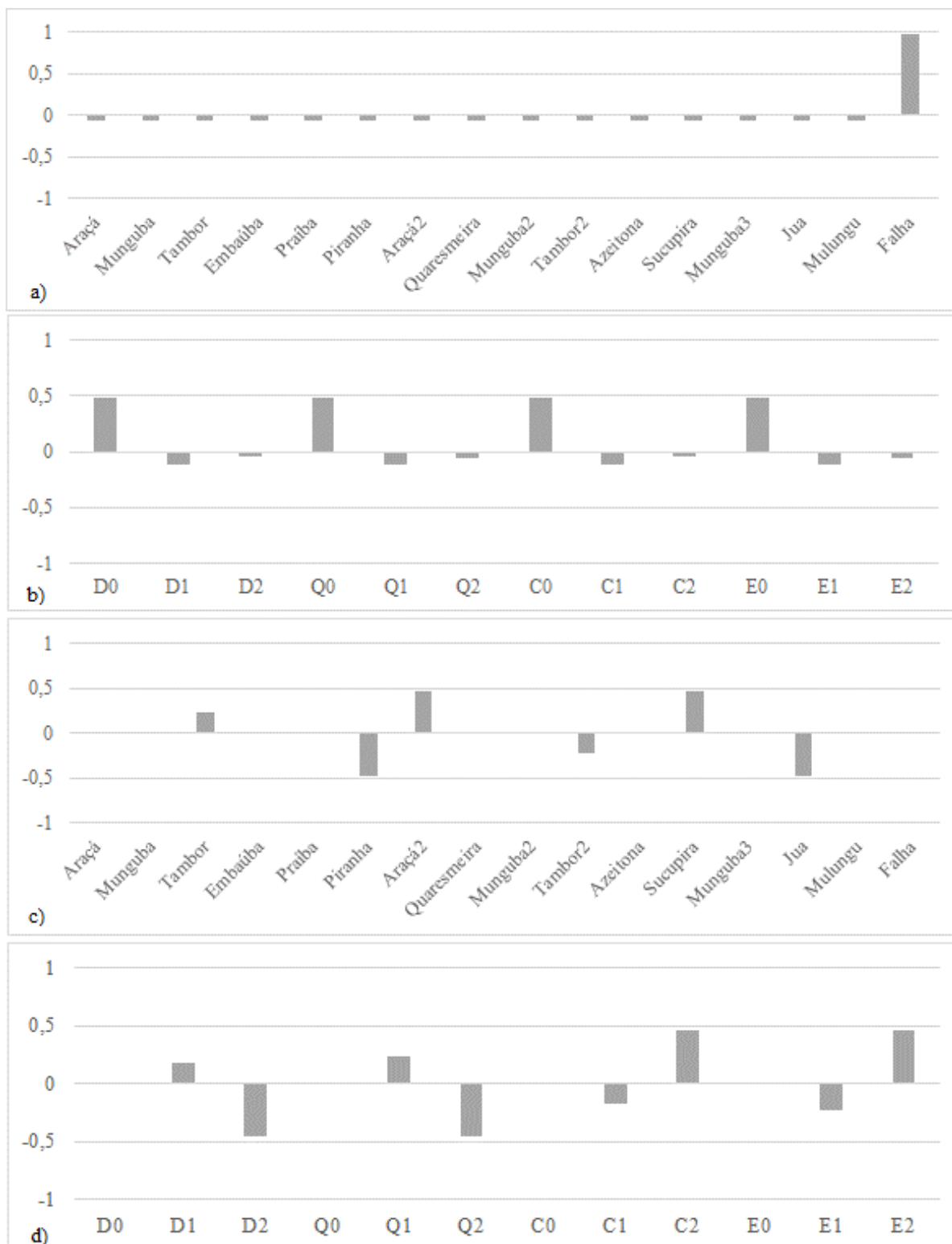
Para a avaliação do PRAD ocorrida em abril de 2016, a “ausência” de resposta às variáveis categóricas onde foi observado falha em campo foi a grande responsável, em termos de contribuição, para a variabilidade do primeiro eixo. O perfil linha de Falha foi tido como o de maior representatividade para computar variabilidade, justamente por ter apresentado a maior  $D_{\chi^2_i}$  e possuir o perfil linha mais diferente em termos de resposta às variáveis categóricas, conforme se verifica na Tabela 9, além de ter atração mais forte com as variáveis D0, Q0, C0 e E0, conforme observado na Tabela 12.

As observações que mais contribuíram para a variabilidade do segundo eixo foram as espécies Piranha (*Loetia apetala*), Araçá (*Psidium cattleianum*), Sucupira (*Bowdichia virgilioides*) e Jua (*Ziziphus joazeiro*). As variáveis relacionadas com o desenvolvimento moderado da vegetação (D2 e Q2) e com a matocompetição moderada (C2 e E2) foram as que mais contribuíram para a variabilidade do segundo eixo. Em termos de observação, verifica-se a formação de um contraste entre Piranha e Jua com Sucupira e Araçá. As variáveis categóricas D2 e Q2 também formam um contraste com C2 e E2. Além da contribuição mais significativas destas observações e variáveis categóricas para a inercia do segundo eixo de dispersão, como estão envolvidos mais de uma observação e variável categórica, o contraste revela que tais variáveis e observações podem se posicionar em lados opostos em relação ao eixo de dispersão 2, formando associações distintas.

Portanto, as observações e as variáveis categóricas que mais contribuíram para a variabilidade dos dois primeiros eixos de dispersão foram as principais condicionantes do grau de dependência que existe na relação entre os indivíduos amostrados das espécies florestais plantadas e as ações de manejo silvicultural executadas. A Figura 12 ilustra a importância das observações (a) e das variáveis categóricas (b) para a variabilidade do primeiro eixo e das observações (c) e variáveis categóricas (d) para o segundo eixo, referente a avaliação do PRAD realizada em março de 2018.



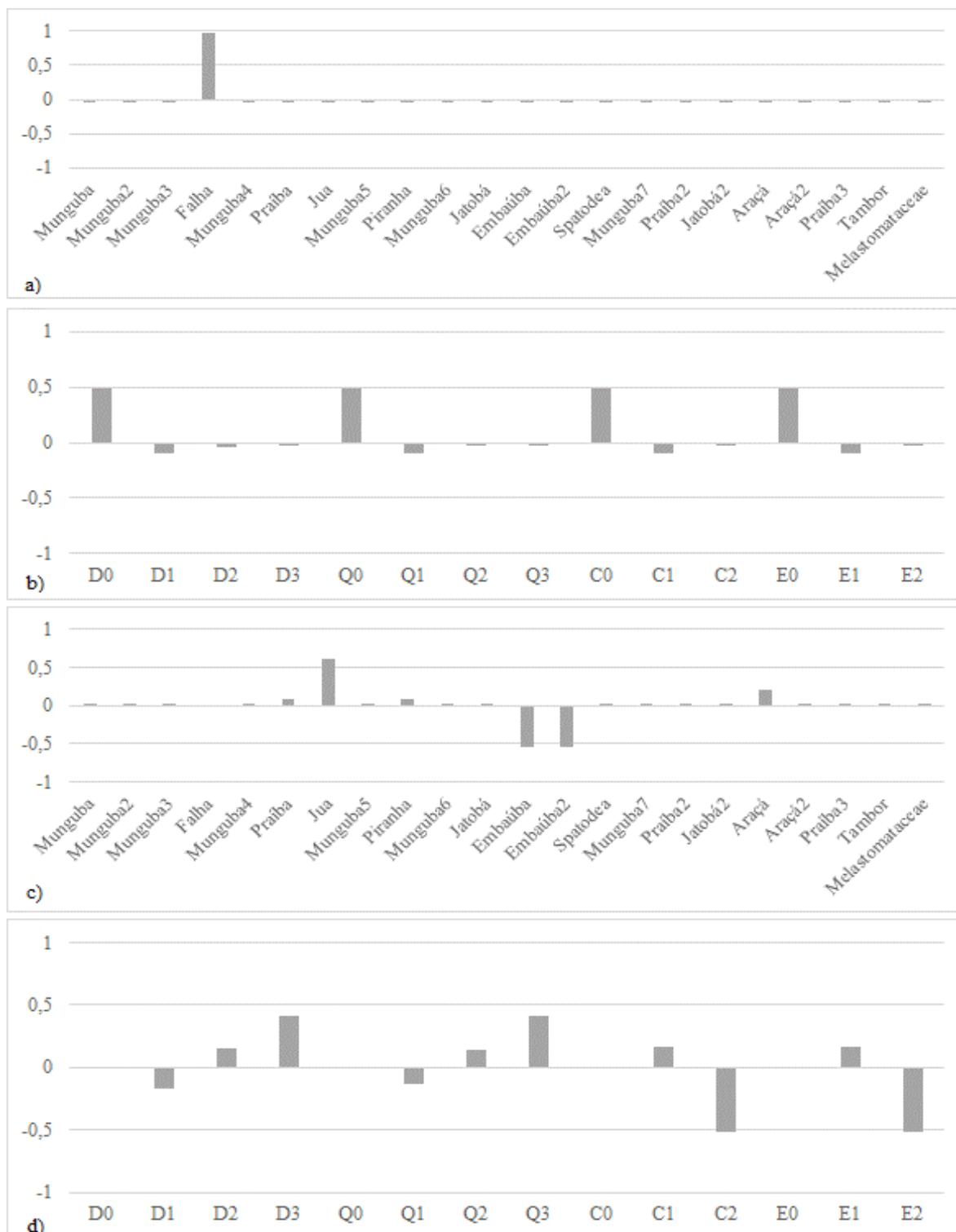
**Figura 10** – Representação gráfica que expressa contrastes formados pelas observações (a) e pelas variáveis categóricas (b) que mais contribuem para a variabilidade do primeiro eixo e pelas das observações (c) e variáveis categóricas (d) que mais contribuem para a variabilidade do segundo eixo, referente aos dados\* avaliação do PRAD realizada em abril de 2016



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

\*Em que D1: Desenvolvimento considerado “Bom”, D2: Desenvolvimento considerado “Regular”, Q1: Qualidade considerada “Boa”, Q2: Qualidade considerada “Regular”, C1: Condições de coroamento considerado “Bom”, C2: Condições de coroamento considerado “Regular”, E1: Condições da entrelinha considerada “Boa”, E2: Condições da entrelinha considerada “Regular”, Sup: Unidade amostral situado acima da estrada Inf: Unidade amostral situado abaixo da estrada.

**Figura 11** – Representação gráfica que expressa contrastes formados pelas observações (a) e pelas variáveis categóricas (b) que mais contribuem para a variabilidade do primeiro eixo e pelas das observações (c) e variáveis categóricas (d) que mais contribuem para a variabilidade do segundo eixo, referente aos dados\* da avaliação do PRAD realizada em março de 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

\*Em que D1: Desenvolvimento considerado “Bom”, D2: Desenvolvimento considerado “Regular”, D3: Desenvolvimento considerado “Ruim”, Q1: Qualidade considerada “Boa”, Q2: Qualidade considerada “Regular”, Q3: Qualidade considerada “Ruim”, C1: Condições de coroamento considerado “Bom”, C2: Condições de coroamento considerado “Regular”, E1: Condições da entrelinha considerada “Boa”, E2: Condições da entrelinha considerada “Regular”, Sup: Unidade amostral situado acima da estrada, Inf: Unidade amostral situado abaixo da estrada.

Assim como na primeira avaliação do PRAD, a “ausência” de resposta às variáveis categóricas, onde foi observado falha em campo, foi a grande responsável, em termos de contribuição, para a variabilidade do primeiro eixo. relativo a segunda avaliação do PRAD, realizada em março de 2018.

As observações que mais contribuíram para a variabilidade do segundo eixo de dispersão foram os dois indivíduos de Embaúba (*Cecropia pachystachia*) amostrados, Araçá (*Psidium cattleianum*) e Jua (*Ziziphus joazeiro*) além de Praíba (*Tabebuia cassinoides*) e Piranha (*Loetia apetala*) em uma proporção menor. As variáveis categóricas relacionadas com o desenvolvimento ruim da vegetação (D3 e Q3) e com a matocompetição moderada (C2 e E2) foram as que mais contribuíram para a variabilidade do segundo eixo, além das variáveis afetas ao desenvolvimento moderado da vegetação (D2 e Q2), que contribuíram em uma proporção menor, com relação às variáveis anteriores.

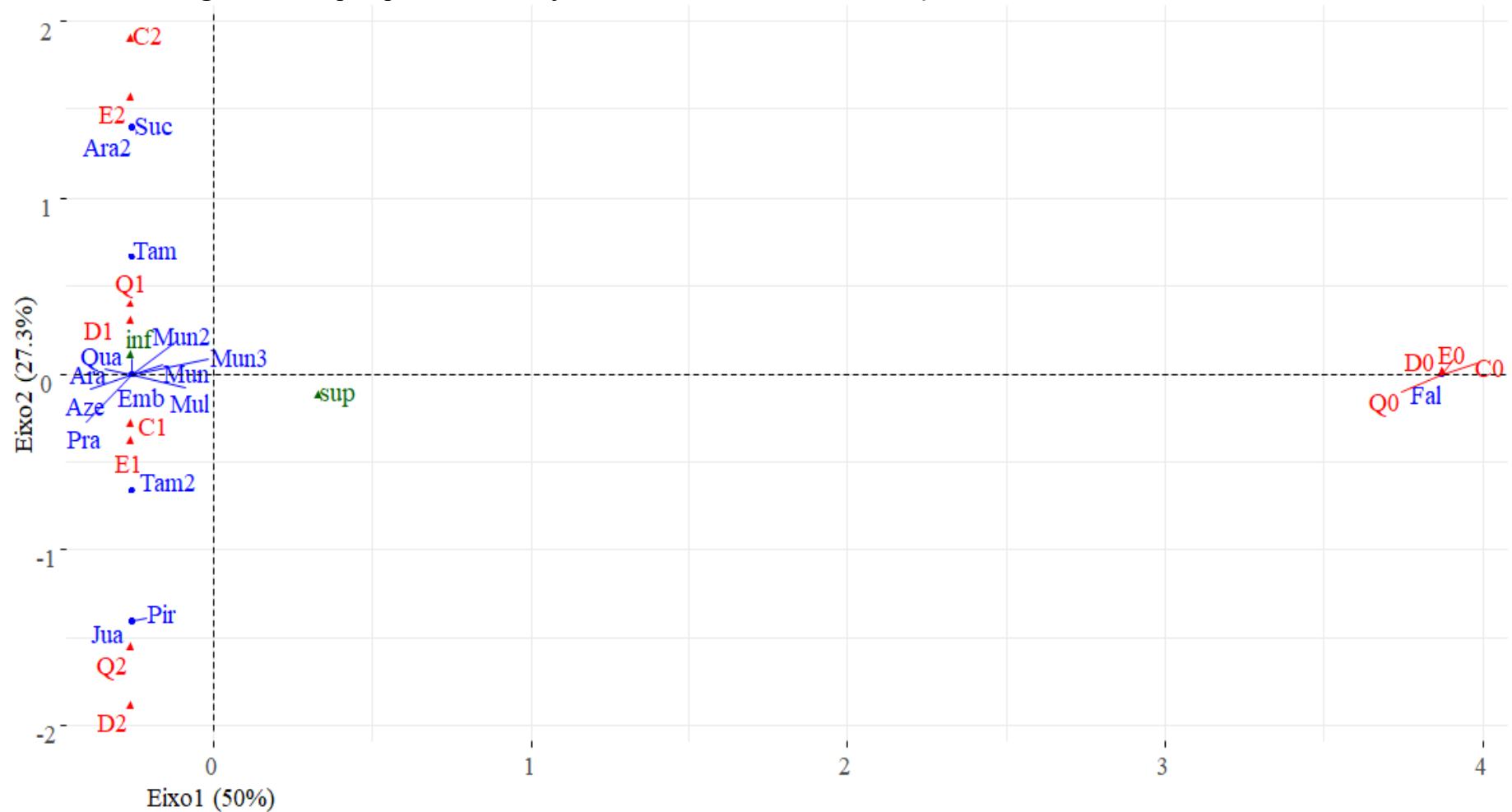
No gráfico das observações (Figura 12c) verifica-se um evidente contraste entre os dois indivíduos de Embaúba com as observações Jua e Araçá. Da mesma maneira se observa um contraste evidente no gráfico da Figura 12d, entre variáveis categóricas relacionadas com o desenvolvimento ruim da vegetação (D3 e Q3) e com a matocompetição moderada (C2 e E2). Este contraste envolvendo as observações e as variáveis categóricas que mais contribuem para a inercia do segundo eixo de dispersão é indicativo de que tais variáveis e observações podem se posicionar em lados opostos em relação ao eixo de dispersão 2, formando associações distintas.

Do exame dos autovetores das observações e das variáveis categóricas que mais contribuem para a variabilidade do primeiro e do segundo eixo de dispersão, foi possível fazer uma constatação das variáveis e observações mais plausíveis de conter as relações que regem a recuperação ambiental que se pretende evidenciar, quanto ao PRAD avaliado.

De acordo com Hoffman; Leeuw (1992), a abordagem geométrica da análise de correspondência, por meio do método gráfico biplot, pode ser utilizada para responder questões colocadas pelos dados categóricos em termos de proximidade. A questão a ser respondida, neste caso, diz respeito a evidenciar as principais relações que regem a recuperação ambiental do PRAD em execução que foi submetida a avaliação.

Biplot para os dados coletados na avaliação do PRAD ocorrida em abril de 2016 encontra-se disposto na Figura 13 e o biplot dos dados coletados na avaliação do PRAD ocorrida em março de 2018 é ilustrado na Figura 14.

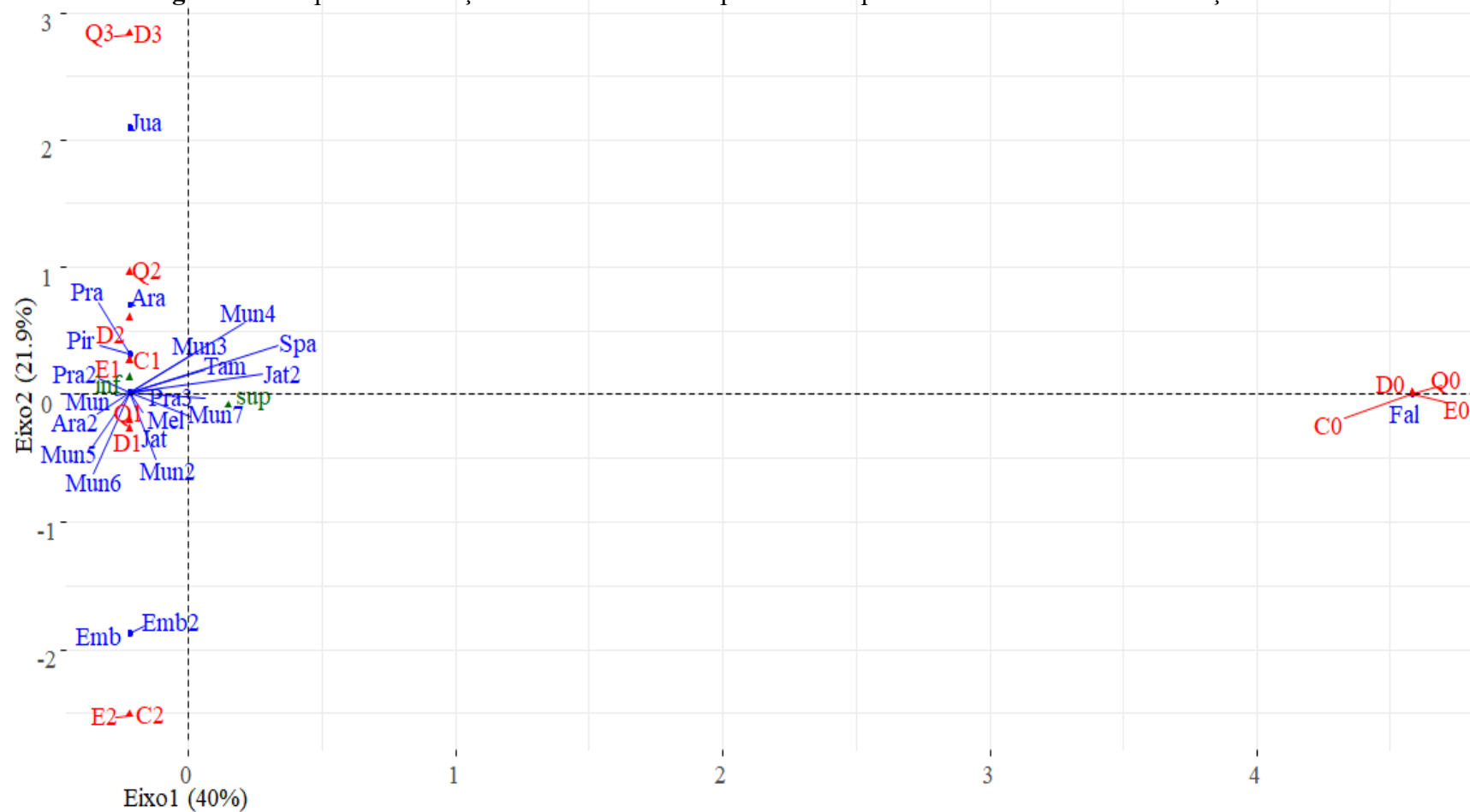
**Figura 12** – Biplot para análise conjunta dos dados\* referente a avaliação do PRAD realizada em abril de 2016.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Em que Ara (Araçá - *Psidium cattleianum*), Ara2 (Araçá - *Psidium cattleianum*), Aze (Azeitona - *Syzygium cumini*), Emb (Embauba - *Cecropia* sp.), Fal (Falha), Jua (Juazeiro - *Ziziphus joazeiro*), Mul (Mulungu - *Erythrina Mulungu*), Mun (Munguba - *Pachira aquatica*), Mun2 (Munguba - *Pachira aquatica*), Mun3 (Munguba - *Pachira aquatica*), Pir (Piranha - *Loetia apetala*), Pra (Praiba - *Tabebuia cassinoides*), Qua (Quaresmeira - *Tibouchina* sp.), Suc (Sucupira - *Bowdichia virgilioides*), Tam (Tambor - *Enterolobium* sp.), Tam2 (Tambor - *Enterolobium* sp.), D1: Desenvolvimento considerado “Bom”, D2: Desenvolvimento considerado “Regular”, Q1: Qualidade considerada “Boa”, Q2: Qualidade considerada “Regular”, C1: Condições de coroamento considerado “Bom”, C2: Condições de coroamento considerado “Regular”, E1: Condições da entrelinha considerada “Boa”, E2: Condições da entrelinha considerada “Regular”, Sup: Unidade amostral situado acima da estrada Inf: Unidade amostral situado abaixo da estrada.

**Figura 13** – Biplot da avaliação do PRAD em acompanhamento para os dados coletados em março de 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Em que Ara (Araçá - *Psidium cattleianum*), Ara2 (Araçá2 - *Psidium cattleianum*), Emb (Embaúba - *Cecropia pachystachia*), Emb2 (Embaúba2 - *Cecropia pachystachia*), Fal (Falha), Jat (Jatobá - *Hymenaea courbaril*), Jat2 (Jatobá2 - *Hymenaea courbaril*), Jua (Jua - *Ziziphus joazeiro*), Mel (Melastomataceae - *Miconia* sp.), Mun (Munguba - *Pachira aquatica*), Mun2 (Munguba2 - *Pachira aquatica*), Mun3 (Munguba3 - *Pachira aquatica*), Mun4 (Munguba4 - *Pachira aquatica*), Mun5 (Munguba5 - *Pachira aquatica*), Mun6 (Munguba6 - *Pachira aquatica*), Mun7 (Munguba7 - *Pachira aquatica*), Pir (Piranha - *Loetia apetala*), Pra (Praíba - *Tabebuia cassinoides*), Pra2 (Praíba2 - *Tabebuia cassinoides*), Pra3 (Praíba3 - *Tabebuia cassinoides*), Spa (Spatodea - *Spathodea campanulata*), Tam (Tambor - *Enterolobium contortisiliquum*), D1: Desenvolvimento considerado “Bom”, D2: Desenvolvimento considerado “Regular”, D3: Desenvolvimento considerado “Ruim”, Q1: Qualidade considerada “Boa”, Q2: Qualidade considerada “Regular”, Q3: Qualidade considerada “Ruim”, C1: Condições de coroamento considerado “Bom”, C2: Condições de coroamento considerado “Regular”, E1: Condições da entrelinha considerada “Boa”, E2: Condições da entrelinha considerada “Regular”, Sup: Unidade amostral situado acima da estrada, Inf: Unidade amostral situado abaixo da estrada.

No caso da Figura 13, o eixo horizontal (Eixo1), que possui maior porcentagem relativa da inércia, separa o conjunto de dados da primeira avaliação do PRAD em dois grupos, sendo um grupo formado pela “ausência” de resposta às variáveis categóricas, onde foi observado falha em campo e o outro grupo formado pelas demais observações e variáveis categóricas do conjunto de dados.

O Segundo grupo, por sua vez, é subdividido em outros três grupos, pelo eixo vertical (Eixo2). Um destes grupos, situado próximo à origem do gráfico, associa as observações Embaúna (*Cecropia pachystachia*), Mulungu (*Erythrina velutina*), Quaresmeira (*Miconia albicans*), três indivíduos amostrados de Munguba (*Pachira aquatica*), Araçá (*Psidium cattleianum*), Azeitona (*Syzygium cumini*) e Praíba (*Tabebuia cassinoides*) com as variáveis categóricas que indicam bom desenvolvimento vegetativo (D1 e Q1) e matocompetição considerada boa (C1 e E1). Tais observações, por apresentarem padrão idêntico de resposta às variáveis avaliadas foram plotadas como pontos idênticos no gráfico.

O posicionamento deste grupo próximo à origem do gráfico revela bom comportamento médio do PRAD avaliado. Isto porque, segundo Hoffman; Leeuw (1992) variáveis categóricas com baixa frequência marginal são plotadas na direção da borda do mapa, enquanto que variáveis categóricas com alta frequência marginal são plotadas próximas à origem do gráfico. Variáveis com alta frequência possuem maior quantidade de observações respondendo positivamente para aquele tipo de descritor, logo terão um perfil linha menos diferente do perfil médio (centroide) que é simbolizado no biplot como sendo a origem (INFANTOSI; COSTA; ALMEIDA, 2014).

Os outros dois grupos, um situado acima e outro abaixo do Eixo2, associam algumas observações a variáveis categóricas que indicam resultado moderado ou regular às atividades de manejo silvicultural da fase de manutenção florestal. Nesse sentido, as observações Piranha (*Loetia apetala*) e Jua (*Ziziphus joazeiro*) se associaram com variáveis categóricas que indicam desenvolvimento moderado da vegetação (D2 e Q2), enquanto que as observações Sucupira (*Bowdichia virgilioides*) e Araçá (*Psidium cattleianum*) formaram uma associação com as variáveis categóricas que representam matocompetição moderada da vegetação (C2 e E2).

Cabe destacar que o gráfico da Figura 13 sintetiza os demais resultados até agora apresentados. Os destaques que foram feitos para justificar a variabilidade dos dados em termos das observações que apresentaram maior  $D_{\chi^2_i}$ , por possuírem um perfil linha mais diferente do perfil médio (centroide), das observações e variáveis categóricas que apresentaram atração mais forte na matriz de coeficientes de medidas que indicam semelhança (matriz **Q**) e dos contrastes

formados entre observações e entre variáveis categóricas na análise dos autovetores para explicar a contribuição dos autovalores para a inércia dos dois primeiros eixos de dispersão, implicaram que os pontos referentes a tais observações e variáveis categóricas se posicionassem mais afastado da origem do gráfico.

Logo, a dependência que foi constatada entre os indivíduos amostrados das espécies florestais plantadas na fase de implantação florestal e as ações de manejo silvicultural executadas na fase de manutenção florestal para conduzir o reflorestamento podem ser atribuídas aos grupos periféricos visualizados na Figura 13 e estes grupos, por sua vez, exprimem as relações que regem a recuperação ambiental responsáveis pela variabilidade do conjunto de dados coletados na avaliação do PRAD ocorrida em abril de 2016.

O biplot ilustrado na Figura 14 apresenta o mesmo padrão do biplot apresentado na Figura 13. O eixo horizontal separa o conjunto de dados relativo a segunda avaliação do PRAD em dois grupos, sendo um grupo formado pela “ausência” de resposta às variáveis categóricas, onde foi observado falha em campo e o outro grupo formado pelas demais observações e variáveis categóricas do conjunto de dados.

O Segundo grupo também apresenta subdivisões, pelo eixo vertical (Eixo2). Um destes grupos, situado próximo à origem do gráfico e considerado mais relevante por representar o comportamento médio na avaliação do PRAD realizada em março de 2018 é formado pela associação das observações composta pelos dois indivíduos amostrados de Jatobá (*Hymenaea courbaril*), Miconia (*Miconia* sp.), sete indivíduos amostrados de Munguba (*Pachira aquatica*), segundo indivíduo amostrado de Araçá (*Psidium cattleianum*), *Spathodea* (*Spathodea campanulata*) e dois indivíduos amostrados de Praíba (*Tabebuia cassinoides*) com as variáveis categóricas que indicam bom desenvolvimento vegetativo (D1 e Q1) e matocompetição considerada boa (C1 e E1).

Um pouco acima deste grupo, observa-se uma associação, formada pelo primeiro indivíduo amostrado de Araçá (*Psidium cattleianum*) com as variáveis categóricas que representam desenvolvimento vegetativo regular (D2 e Q2) e das observações Piranha (*Loetia apetala*) e o primeiro indivíduo amostrado de Araçá (*Psidium cattleianum*) com as variáveis categóricas que denotam boa matocompetição (C1 e E1) e o porte regular da vegetação (D2). Mais acima, mais próximo da borda do gráfico, há outra associação, formada pela observação Jua (*Ziziphus joazeiro*) com a variável categórica que indica desenvolvimento vegetativo ruim (D3 e Q3). Por fim, abaixo do grupo situado próximo à origem do gráfico, foi formado um grupo devido a associação das observações referente aos dois indivíduos amostrados de

Embaúba (*Cecropia pachystachia*) com as variáveis categóricas que representam matocompetição moderada da vegetação (C2 e E2).

O comportamento padrão de as observações apresentaram um comportamento médio em termos de resposta às variáveis categóricas que representam bom desenvolvimento vegetativo (D1 e Q1) e matocompetição considerada boa (C1 e E1) foi mantido.

Para os grupos de associações responsáveis mais pela variabilidade do conjunto de dados, os relacionamentos entre observações e variáveis categóricas para os dados da avaliação do PRAD realizada em março de 2018 revelam associação mais diversas do que aquelas observadas para a avaliação do PRAD feita em 2016.

Esta diversificação está fundamentado na mudança de comportamento de algumas associações, como Juá, que se associava com as variáveis categóricas que indicam desenvolvimento moderado da vegetação (D2 e Q2) e passou a se associar com variáveis categóricas relativas ao desenvolvimento vegetativo ruim (D3 e Q3) bem como um dos indivíduos de Araçá, que na primeira avaliação do PRAD se associou com variáveis categóricas afetas à matocompetição regular (C2 e E2) e na segunda avaliação do PRAD se associou com variáveis categóricas do desenvolvimento vegetativo moderado da vegetação (D2 e Q2).

Em ambos os gráficos, a situação que predominou, foi aquela em que as observações se associaram com variáveis categóricas que representam bom desenvolvimento vegetativo (D1 e Q1) e matocompetição considerada boa (C1 e E1), ressaltando o indicativo de bom andamento da execução do PRAD.

As demais situações, embora possam ser consideradas excepcionais, dado o caráter eventual e pontual apresentado pelas frequências que as caracterizam, indicam a necessidade de se manter a atenção devida às atividades da fase de manutenção florestal, tais como aquelas relacionadas com o controle da matocompetição, a exemplo das roçadas e dos coroamentos dos indivíduos das espécies plantadas, bem como considerar a possibilidade de adoção de outras atividades não previstas no PRAD, como por exemplo a adoção de uma adubação de cobertura, para auxiliar no desenvolvimento vegetativo dos indivíduos das espécies florestais plantadas.

Com relação às variáveis suplementares, verifica-se que em ambas as avaliações realizadas, a variável categórica que representa as unidades amostrais situadas abaixo da estrada (Inf) se associaram com as variáveis categóricas que representam bom desenvolvimento vegetativo (D1 e Q1) e matocompetição considerada boa (C1 e E1) e as observações a estas variáveis relacionadas.

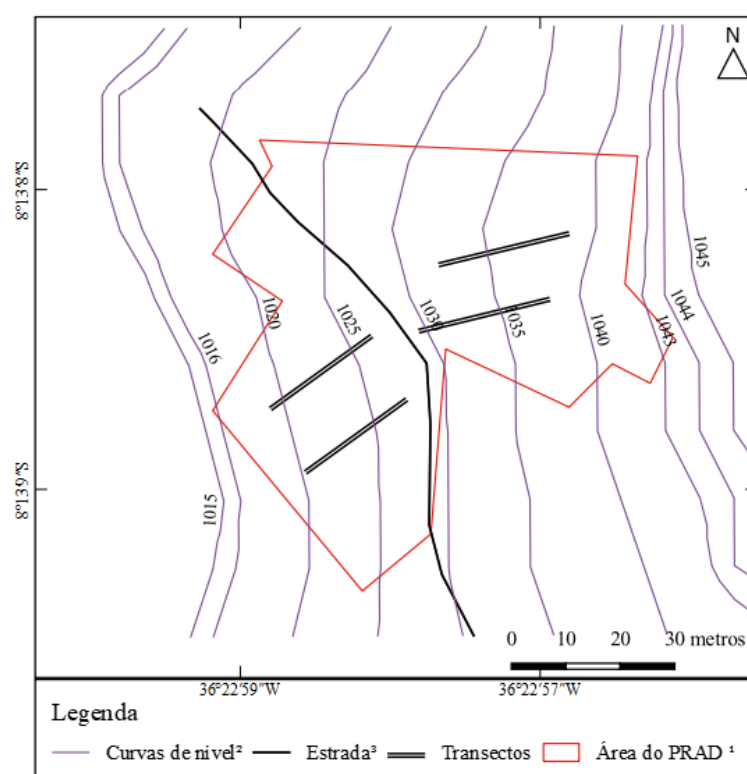
Com relação à variável categórica que designa as unidades amostrais acima da estrada (Sup), verifica-se um posicionamento mais próximo da origem do eixo no biplot referente à



análise de correspondência da avaliação do realizada em março de 2018, em comparação ao biplot da análise de correspondência da primeira avaliação, de abril de 2016. Este resultado significa que as obserções destas unidades amostrais passaram a apresentar um comportamento mais próximo de bom desenvolvimento vegetativo (D1 e Q1) e matocompetição considerada boa (C1 e E1) tendendo a compor uma associação com as variáveis e observações deste grupo.

A área do PRAD está localizada em um relevo acidentado, situado entre as cotas altimétricas de 1015 a 1044 metros, em relação ao nível do mar (Figura 15), totalizando um desnível de aproximadamente 30 metros. As unidades amostrais abaixo da estrada se situam nos primeiros 12 metros de desnível aproximadamente, enquanto que as unidades amostrais acima da estrada encontram-se nos últimos 13 metros de desnível.

**Figura 14** – Situação das unidades amostrais quanto a posição topográfica.



Fonte: <sup>1</sup> NUBIO/PE, 2016; <sup>2</sup> ALOS PALSAR 37/7010, de 8 nov. 2006 (ASF DAAC, 2019); <sup>3</sup>Google Earth, 2019 (adaptado pelo autor).

Costa (2017), ao estudar o gradiente altitudinal de cerca de 70 metros de uma Floresta Estacional Semidecidual em Macaíba, RN, utilizando análise de correspondência distendida, encontrou correlação entre o autovalor do primeiro eixo de dispersão com as cotas de altitude das parcelas, indicando haver influência da variação altimétrica na estrutura da vegetação. Logo situações ambientais baseado em atributos topográficos podem exercer influência no estabelecimento da vegetação arbustivo arbórea implantada. Devido a importância das variáveis ambientais, Martins (2009) recomenda a identificação e delimitação de situações ambientais

baseados em diferentes atributos, tais como o estado de degradação da área, tipos de solo, topografia, umidade do solo, vegetação remanescente, tipos de entorno da área degradada, etc.

### 5.3. INDICADORES E ÍNDICES

Visando reiterar a constatação sobre o bom andamento do PRAD em execução baseado na análise dos dados por meio da análise de correspondência, bem como possibilitar comparações mais concretas entre as duas avaliações realizadas são apresentados, na Tabela 15 e 16, os indicadores, embasado na determinação dos Coeficientes de Rendimento Ambiental (CRA), e os índices, com fulcro na síntese do Índice de Avaliação de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas (IAPRAD) com referência na avaliação do PRAD realizada em abril de 2016 e em março de 2018, respectivamente.

**Tabela 15** – CRA e IAPRAD da avaliação do PRAD realizada em abril de 2016.

Desenvolvimento									
Falhas	%Falhas	Ruim	%Ruim	Regular	%Regular	Bom	%Bom	N	CRA (%)
1	6,25	0	0	2	12,5	13	81,25	16	89,58
Qualidade									
Falhas	%Falhas	Ruim	%Ruim	Regular	%Regular	Bom	%Bom	N	CRA (%)
1	6,25	0	0	3	18,75	12	75	16	87,50
Coroamento									
Falhas	%Falhas	Ruim	%Ruim	Regular	%Regular	Bom	%Bom	N	CRA (%)
1	6,25	0	0	2	12,5	13	81,25	16	89,58
Entrelinhas									
Falhas	%Falhas	Ruim	%Ruim	Regular	%Regular	Bom	%Bom	N	CRA (%)
1	6,25	0	0	3	18,75	12	75	16	87,50
<b>IAPRAD (%)</b>									<b>88,54</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Para os dados da avaliação do PRAD ocorrida em abril de 2016, as variáveis que tratam do desenvolvimento vegetativo (Desenvolvimento e Qualidade) e da matocompetição (Coroamento e Entrelinhas) obtiveram resultados satisfatórios em termos de coeficiente de rendimento ambiental, que culmina com um valor de IAPRAD que expressa um resultado satisfatório da execução do PRAD, com a ressalva quanto a necessidade de ajustes pontuais. Os fatores mais limitantes considerados foram o percentual de falhas e a matocompetição nas entrelinhas.

O percentual de falha computado foi de 6,25%, isto considerando o esforço amostral empregado, que culminou num erro de amostragem de cerca de 28%, a um nível de probabilidade de 90% (calculado conforme fórmula da expressão 6). No caso de falhas, há

literaturas de referência (ALMEIDA, 2016; BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015) que recomendam o percentual de falhas de até 5% como um valor aceitável. Valores acima de 5% requerem atenção, sendo que se o índice de mortalidade for superior a 10% faz-se necessário investigar e identificar o fato gerador da mortalidade de plantas e procurar resolver o problema o mais rápido possível (ALMEIDA, 2016).

Em relação à matocompetição, há referência no sentido de que é um dos fatores que mais afetam o crescimento inicial de essências nativas em plantios mistos (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015). Por esta razão, tratamentos silviculturais para a eliminação da matocompetição devem ser aplicados, visando contribuir para um maior crescimento vegetativo das essências florestais plantadas (KLIPPEL *et al.*, 2015) e a realização destes tratamentos silviculturais deve ser mantido até que o plantio florestal atinja crescimento suficiente para sua sobrevivência e consiga dominar a concorrência com as plantas daninhas (FARIA *et al.*, 2017).

**Tabela 16** – CRA e IAPRAD da avaliação do PRAD realizada em março de 2018.

Desenvolvimento									
Falhas	%Falhas	Ruim	%Ruim	Regular	%Regular	Bom	%Bom	N	CRA (%)
1	4,55	1	4,55	3	13,64	17	77,27	22	87,88
Qualidade									
Falhas	%Falhas	Ruim	%Ruim	Regular	%Regular	Bom	%Bom	N	CRA (%)
1	4,55	1	4,55	1	4,55	19	86,36	22	90,91
Coroamento									
Falhas	%Falhas	Ruim	%Ruim	Regular	%Regular	Bom	%Bom	N	CRA (%)
1	4,55	0	0	2	9,09	19	86,36	22	92,42
Entrelinhas									
Falhas	%Falhas	Ruim	%Ruim	Regular	%Regular	Bom	%Bom	N	CRA (%)
1	4,55	0	0	2	9,09	19	86,36	22	92,42
<b>IAPRAD (%)</b>									<b>90,91</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Com relação à avaliação do PRAD ocorrida em março de 2018, o CRA das variáveis mantiveram o mesmo patamar de resultados satisfatórios dos CRA's que foram obtidos para as variáveis na avaliação de abril de 2016. Pequenas diferenças foram observadas, sendo que a variável Desenvolvimento apresentou um pequeno decréscimo em termos de CRA, enquanto que as demais variáveis apresentaram aumento, que acabou elevando um pouco o valor do IAPRAD, que indica bom andamento da execução do PRAD avaliado.

Um dos destaques fica por conta do percentual de falhas, com valor de 4,55%, considerando o esforço amostral empregado, que culminou num erro de amostragem de cerca

de 25%, a um nível de probabilidade de 90% (calculado conforme fórmula da expressão 6), inferior ao percentual de falhas identificado na avaliação anterior, demonstrando haver um efeito positivo das ações de manejo silvicultural executadas na fase de manutenção florestal para conduzir o reflorestamento com essências nativas implantado.

Os valores de CRA das variáveis Coroamento e Entrelinhas indicam melhoria do aspecto relacionado com a matocompetição em relação à situação identificada anteriormente. Contudo, esta melhoria não se refletiu em maiores valores de CRA para a variável Desenvolvimento. Isto porque, conforme já evidenciado na análise de correspondência, a observação Juá (*Ziziphus joazeiro*), que antes se associava com as variáveis categóricas que indicam desenvolvimento moderado da vegetação (D2 e Q2), passou a se associar com variáveis categóricas relativas ao desenvolvimento vegetativo ruim (D3 e Q3). Portanto, o pequeno declínio observado em termos de CRA para a variável Desenvolvimento não pode ser atribuídas à matocompetição, que se encontra controlada pelos tratos silviculturais da fase de manutenção florestal, conforme se evidencia pelos bons valores de CRA obtidos na última avaliação realizada.

Cabe destacar que o Juá é uma planta perenifolia exclusiva de várzeas da região da Caatinga (DANTAS *et al.*, 2014). Desta maneira, subtende-se que plantar em áreas altas espécies que sejam característica das margens de cursos d'água situados no semiárido prejudica a adaptação e estabelecimento da espécie, muito embora a área do PRAD esteja situado na caatinga, mesma região de ocorrência do Juá e a espécie seja indicada para restauração e recuperação ambiental (LUCENA *et al.*, 2017).

Considerando o IAPRAD como estimador da proporção (p), utilizando-se a fórmula da expressão (6), considerando o esforço amostral realizado (4 unidades amostrais de 100 m<sup>2</sup>), obteve-se um erro de amostragem de cerca de 0,28 (ou 28%) na primeira avaliação do PRAD realizada em abril de 2016 e de aproximadamente 0,25 (ou 25%) na segunda avaliação do PRAD ocorrida em março de 2018.

Alguns autores, como Sousa; Vieira (2017), em um protocolo de monitoramento da recomposição da vegetação nativa do Bioma Cerrado e Brancalion; Gandolfi; Rodrigues (2015) que estabelecem as bases conceituais para a restauração florestal no Brasil, apoiado em diversos projetos realizados em áreas de domínio do Bioma Mata Atlântica recomendam, para áreas que tenham entre 0,5 e 1 ha, 5 parcelas de 100 m<sup>2</sup>. Contudo, não são mencionadas as razões ou as explicações as quais subsidiam esta recomendação de intensidade amostral.

Visando justificar esta recomendação, foram simulados valores de IAPRAD, erro e esforço amostral, em função do IAPRAD simulado, cujos resultados encontram-se disposto na Tabela 17.

**Tabela 17** – Aplicação do IAPRAD para o cálculo do erro amostral considerando o número de amostras recomendado pela literatura ( $n=5$ ) e o nível de probabilidade igual a 90% bem como do número ótimo de amostras considerando o erro amostral de 20%.

Parâmetros Estatísticos						
p (IAPRAD)	0,99	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
q (1-p)	0,01	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Erro amostral calculado	0,072	0,215	0,287	0,329	0,351	0,359
Nº ótimo de amostras	2	5	8	10	11	11

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Conforme se verifica, quando se trata de PRAD executado em uma área de até um hectares e que apresenta resultados satisfatórios (IAPRAD até 90%), é possível expressar os resultados da avaliação do PRAD com cinco amostras, a um erro de amostragem muito próximo de 20% a um nível de confiança de 90%.

Todavia à medida que os resultados vão caminhando para indicar uma execução do PRAD razoável, há um aumento do erro de amostragem que pode chegar à casa dos 35%, o que demandaria o aumento do número de amostras, caso o interesse fosse o de manter o patamar do erro amostral de 20% a um nível de probabilidade de 90%.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista o exposto, procurou-se aferir, por meio da proposição de um índice e de diversas ações, o grau e a efetividade de um PRAD em execução, avaliado em duas épocas distintas, situado em um Brejo de Altitude, no município de Belo Jardim, PE, em que se fez a utilização de parâmetros técnicos pré-estabelecidos que descreviam se a execução do PRAD estava produzindo resultado adequado conforme os objetivos da recuperação ambiental.

As diversas ações utilizadas foram empregadas segundo a pirâmide de informações proposta por Hammond *et al.* (1995), que possibilitou a organização dos dados coletados e a análise das informações e dos resultados obtidos acerca do PRAD em execução.

Neste sentido, a consolidação dos dados primários em uma tabela de composição florística, possibilitou a constatação de utilização de espécies cujos fatores ecológicos são de grande relevância na recuperação de áreas degradadas. A utilização de gráficos que ilustra, por meio de um resumo estatístico, as variáveis coletadas na avaliação do PRAD, também conferiu informações importantes acerca da distribuição das observações em cada categoria.

A análise dos dados, mediante emprego da análise de correspondência, permitiu identificar, inicialmente, a existência de relação entre os indivíduos amostrados das espécies florestais plantadas na fase de implantação florestal e as ações de manejo silvicultural executadas na fase de manutenção florestal para conduzir o reflorestamento.

Para revelar como eram estas relações, foi utilizado o gráfico biplot, que permite a plotagem de pontos de linha e de colunas em um mesmo plano, e a revelação das principais relações que regem o estabelecimento da cobertura arbustivo-arbórea em formação, conduzido sob a égide do PRAD em execução. Questões técnicas da análise de correspondência, traduzidas no biplot, revelaram como comportamento médio um grupo formado pela maioria das observações com as variáveis categóricas que indicam bom desenvolvimento vegetativo (D1 e Q1) e matocompetição considerada boa (C1 e E1), evidenciando o indicativo de bom andamento da execução do PRAD.

O resultado da análise de correspondência foi endossado pelos CRA e pelo IAPRAD, com as avaliações realizadas obtendo resultados satisfatórios em termos de desenvolvimento vegetativo (Desenvolvimento e Qualidade) e da matocompetição (Coroamento e Entrelinhas), com pequenas diferenças em termos de desenvolvimento vegetativo e de matocompetição, sem que isso, contudo, se traduzisse em declínio na execução do PRAD. Conforme evidenciado, foi possível, por meio do índice proposto, aferir que o PRAD está sendo bem conduzido e está apresentando resultados considerados adequados.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. L. **Diagnóstico ambiental e questões estratégicas : uma análise considerando o pólo gesseiro do Sertão do Araripe - Estado de Pernambuco**. 2002. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Paraná. Curitiba. 2002.

ALMEIDA, D. S. Plano de recuperação de áreas degradadas (PRAD). In: \_\_\_\_\_ **Recuperação ambiental da Mata Atlântica [online]**. 3rd ed. rev. and enl. ed. Ilhéus: Editus, 2016. p. 140-158. ISBN 978-85-7455-440-2. Disponível em: <http://books.scielo.org>. Acesso em: 18 mai. 2018.

ALMEIDA, R. O. P. O.; SANCHEZ, L. H. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação de desempenho. **Revista Arvore**, v. 29, n. 1, p. 47-54, 2005.

ANDRADE LIMA, D. D. Estudos Fitogeográficos de Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, Recife, 2007. 243-274.

ANDRADE, G. F.; SANCHEZ, G. F.; ALMEIDA, J. R. D. Monitoramento e Avaliação em Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas. **Revista Internacional de Ciências**, v. 4, n. 2, p. 13-26, 2014.

ARAUJO, A. S. F. *et al.* Soil microbial properties and temporal stability in degraded and restored lands of Northeast Brazil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 66, p. 175-181, 2013. ISSN 0038-0717.

ASF DAAC. ALOS PALSAR\_Radiometric\_Terrain\_Corrected\_high\_res. Includes Material © JAXA/METI 2007. **ASF Data Search**, 2007. Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu>. Acesso em: 23 ago. 2019.

BACK, J. Avaliação de projetos de recuperação de áreas degradadas implantados na região do médio Vale do Itajaí, Santa Catarina, Brasil. **Revista Espacios**, v. 38, n. 54, p. 10, 2017. ISSN 0798 1015.

BERTONCELO, E. O uso da Análise de Correspondências Múltiplas nas Ciências Sociais: possibilidades de aplicação e exemplos empíricos. **40º Encontro Anual da ANPOCS**. [S.l.], p. 25. 2016. (2177-3092).

BÉTARD, F.; PEULVAST, J.-P.; CLAUDINO-SALES, V. Caracterização morfopedológica de uma serra úmida no semi-árido do nordeste brasileiro: o caso do maciço de Baturité-CE. **Mercator**, v. 6, n. 12, p. 107-126, 2008. ISSN 1984-2201.

BOCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. Correspondence Analysis. In: \_\_\_\_\_ **Numerical ecology with R**. [S.l.]: Springer, 2011. p. 132-140. ISBN 978-1-4419-7975-9.

BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. Avaliação e Monitoramento de Projetos de Restauração Florestal. In: \_\_\_\_\_ **Restauração Florestal**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. Cap. 10, p. 287-316. ISBN 978-85-7975-019-9.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília,

DF: Presidência da República, [2018]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L6938compilada.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938compilada.htm). Acesso em: 19 mai. 2018.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, [2018]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 19 mai. 2018.

BRASIL. **Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989**. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2018]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1980-1989/D97632.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D97632.htm). Acesso em: 19 mai. 2018.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2018]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm). Acesso em: 21 maio 2018.

CABRAL, J. et al. Recursos Hídricos e os Brejos de Altitude. In: PORTO, ; CABRAL, J. P.; TABARELLI, **Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba: História Natural, Ecologia e Conservação**. Brasília: [s.n.], 2004. p. 31-48. ISBN 8587166654.

CAMIZ, S.; GOMES, G. C. Alternative Methods To Multiple Correspondence Analysis In Reconstructing The Relevant Information In A Burt's Table. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 36, n. 1, p. 1-20, 2016. ISSN 1678-5142.

CARVALHO, M. C. M. D. O. **Avaliação dos perímetros de irrigação na perspectiva da sustentabilidade da agricultura familiar no semiárido pernambucano**. 2009. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 248. 2009.

CARVALHO, M. S.; STRUCHINER, C. J. Análise de Correspondência: Uma Aplicação do Método à Avaliação de Serviços de Vacinação. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 3, p. 287-301, 1992.

CLIMATEMPO. Climatologia - Município de Belo Jardim, PE. Disponível em: <https://www.climatepo.com.br/climatologia/2179/belojardim-pe>. Acesso em: 01 ago. 2019.

COSTA, H. A. N. **Caracterização fitossociológica de um fragmento de Floresta Estacional Decidual relacionado ao gradiente de altitude em Macaíba/RN**. 2017. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. [S.l.], p. 55. 2017.

COSTA, S. et al. The Use of Multiple Correspondence Analysis to Explore Associations between Categories of Qualitative Variables in Healthy Ageing. **Journal of Aging Research**, p. 12. 2013.

CPRH. **Instrução Normativa nº 007 de 29 de dezembro de 2006**. Disciplina os procedimentos da CPRH referentes à autorização para supressão de vegetação. Recife, 2006. Disponível em: [http://www.cprh.pe.gov.br/legislacao/instrucoes\\_normativas/39805%3B74971%3B1406%3B0%3B0.asp](http://www.cprh.pe.gov.br/legislacao/instrucoes_normativas/39805%3B74971%3B1406%3B0%3B0.asp). Acesso em: 03 set. 2019.

CUNHA, A. P. M. A. et al. Impacts of land use and land cover changes on the climate over



Northeast Brazil. **Atmospheric Science Letters**, v. 16, n. 3, p. 219-227, 2015. ISSN 1530-261X.

CUNHA, J. C.; LOPES, T. S.; SOUSA, J. D. S. A exigência legal da regularização das áreas de preservação permanente e reserva legal e a viabilidade de recuperação para um pequeno proprietário rural. **6º Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade**, 2017. ISSN 2525-4928. Disponível em: <http://itr.ufrj.br/sigabi/anais>. Acesso em: 21 mai. 2018.

DANTAS, F. C. *et al.* Ziziphus joazeiro Mart. - Rhamnaceae: características biogeoquímicas e importância no bioma Caatinga. **Revista Principia**, n. 25, p. 51-57, 2014.

DITEC/PE. Ações realizadas pela Superintendência – 2011/2014. **Superintendência do IBAMA no Estado de Pernambuco**. [S.l.]. 2014.

FARIA, J. C. *et al.* Influência da matocompetição de capim-braquiária no crescimento inicial de espécies florestais em plantio misto. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 15, n. 1, p. 62-71, 2017.

FONSECA, D. A. *et al.* Avaliação da Regeneração Natural em Área de Restauração Ecológica e Mata Ciliar de Referência. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 521-534, 2017. ISSN 1980-5098.

FRANCO, ; RESENDE, S. D.; CAMPELLO, F. C. **Importância das Leguminosas Arbóreas na Importância das Leguminosas Arbóreas na Sustentabilidade de Sistemas Agroflorestais**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2003. Disponível em: <http://saf.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/15.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2019.

GINGRICH, Measures of Association. **Introductory Statistics for the Social Sciences**, 2004. Disponível em: <http://uregina.ca/~gingrich/text.htm>. Acesso em: 13 mai. 2019.

GONÇALVES, M. T.; SANTOS, S. R. Aplicação da Análise de Correspondência à Avaliação Institucional da FECILCAM. IV Encontro de Produção Científica e Tecnológica. Campo Mourão. **Anais [...]**. Paraná: FECILCAM, 2009. p. 1-14.

GOOGLE EARTH PRO. Área de avaliação do PRAD, PE. Coordenadas 8°13'14,5"S e 36°22'58,8"W. Material incluso por Image © CNES / Airbus. **Google Earth Pro 7.3.2.5776 (64-bit)**, 2013. Disponível em: <https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>. Acesso em: 2019 ago. 23.

GREENACRE, M. **Correspondence Analysis in Practice**. 2nd Edition. ed. New York: Chapman and Hall/CRC, 2007. 296 p. ISBN 9780429146145.

GUEDES, T. A. *et al.* Seleção de variáveis categóricas utilizando análise de correspondência e análise procrustes. **Acta Scientiarum**, v. 21, n. 4, p. 861-868, 1999. ISSN 1415-6814.

GUIMARAES, F. P. **Aplicação da análise de correspondência como ferramenta auxiliar na avaliação de projetos de recuperação de áreas degradadas em acompanhamento**. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação Lato Sensu em Recuperação de Áreas Degradadas). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 63. 2015.

HAMMOND, A. *et al.* **Environmental Indicators: A Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development.** 1995. 1-58 p. ISBN 0140-6701.

HOFFMAN, D. L.; LEEUW, J. D. Geometrical Aspects of Multiple Correspondence Analysis: Implications for the Coordinate Scaling Debate. **Marketing Letters** , v. 3, n. 3, p. 259-272, 1992.

IBAMA. **Instrução Normativa nº 3, de 04 de maio de 2001.** Procedimentos relativos ao Manejo Florestal Sustentável da vegetação nativa e suas formações sucessoras na região Nordeste do Brasil, 2001. Brasília, 2019. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/IN0301.htm>. Acesso em: 03 set 2019.

IBAMA. **Instrução Normativa nº 4 de 13 de de abril de 2011.** Procedimentos para elaboração de Projeto de Recuperação de Área Degradada - PRAD ou Área Alterada, para fins de cumprimento da legislação ambiental. Brasília, 2018. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=100&data=14/04/2011>. Acesso em: 19 mai. 2018.

IBGE. Bases cartográficas contínuas do Brasil. 4ª versão digital com banco de dados geográfico, 2014. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas.html>. Acesso em: 05 mai 2018.

IBGE. Informações ambientais da vegetação, 2015. Disponível em: [ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/vegetacao/vetores/escala\\_1000\\_mil\\_radambrasil/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/vetores/escala_1000_mil_radambrasil/). Acesso em: 08 set 2018.

INFANTOSI, A. F. C.; COSTA, J. C. G. D.; ALMEIDA, R. M. V. R. Análise de Correspondência: bases teóricas na interpretação de dados categóricos em Ciências da Saúde. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 3, p. 473-486, 2014.

JESUS, N. D. et al. Regeneração Natural de Espécies Vegetais em Jazidas Revegetadas. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 191-200, 2016. ISSN 2179-8087.

KASSAMBARA, A. Correspondence Analysis: Theory and Practice. **Statistical tools for high-throughput data analysis**, 2017. Disponível em: <http://www.sthda.com/english/articles/31-principal-component-methods-in-r-practical-guide/120-correspondence-analysis-theory-and-practice/>. Acesso em: 18 jan. 2019.

KEMERICH, P. D. D. C.; RITTER, L. G.; BORBA, W. F. Indicadores de sustentabilidade ambiental: métodos e aplicações. **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM**, Santa Maria, 13, n. 5, 2014. 3723-3736. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5902/2236130814411>.

KLIPPEL, *et al.* Avaliação de métodos de restauração florestal de Mata de Tabuleiro - ES. **Revista Árvore**, v. 39, n. 1, p. 69-79, 2015.

LE, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. **Journal of Statistical Software**, v. 25, n. 1, p. 1-18, 2008.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. Correspondence analysis (CA). In: \_\_\_\_\_ **Numerical Ecology**. [S.l.]: Elsevier Science, 1998. Cap. 9.4, p. 451-476. ISBN 0167-8892.

LIMA, P. A. F. *et al.* **Indicadores Ecológicos:ferramentas para o monitoramento do processo de restauração ecológica**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. [S.l.], p. 46. 2015. (1517-5111).

LINO, C. F.; BECHARA, E. Estratégias e instrumentos para conservação. In: CLAYTON, L. ; BECHARA, **Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 2002. Disponível em: [http://www.rbma.org.br/rbma/pdf/Caderno\\_21.pdf](http://www.rbma.org.br/rbma/pdf/Caderno_21.pdf). Acesso em: 09 fev. 2015.

LOPES, S. F. *et al.* Análise comparativa da estrutura e composição florística de Cerrado no Brasil Central. **Interciencia**, Caracas, v. 36, n. 1, p. 8-15, 2011. ISSN 0378-1844.

LUCENA, O. D. *et al.* Biometria e qualidade fisiologica de sementes de Juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Marth.) de diferentes matrizes do semiarido paraibano. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 13, n. 4, p. 275-280, 2017. ISSN 1808-6845.

MARKOS, A.; MENEXES, ; PAPADIMITRIOU , T. **Multiple correspondence analysis for “tall” data sets**. *Intelligent Data Analysis* 13. [S.l.], p. 873-885. 2009.

MARTINS, M. E. G. Diagrama ou gráfico de barras. **Revista Ciência Elementar**, v. 06, n. 1, p. 1-3, 2018.

MARTINS, S. V. Etapas de um Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas. In: \_\_\_\_\_ **Recuperação de Áreas Degradadas: Ações em Áreas de Preservação Permanente, Voçorocas, Taludes Rodoviários e de Mineração**. 1ª Edição. ed. [S.l.]: Aprenda Fácil, 2009. p. 57-62.

MEDEIROS, R. L. S. *et al.* Seeds Ecophysiology in an Altitude Marsh in Paraíba State, Brazil, Aiming the Conservation of the Autochthonous Biodiversity. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 697-705, 2017. ISSN 1980-5098.

MEUNIER, I. M. J.; SILVA, J. A. A. D.; FERREIRA, R. L. C. **Inventário Florestal. Programa de Estudo**. Recife: Imprensa Universitária da UFRPE., 2001. p. 179.

MINGOTI, S. A. Análise de correspondência. In: \_\_\_\_\_ **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. p. 257-266. ISBN 978-85-7041-451-9.

MONTANDON, T. S.; CAMELLO, T. C. F. Indicadores de Sustentabilidade para Monitoramento de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas. **Revista Sustinere**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 1, p. 43-52, 2015. ISSN 2359-0424.

MONTE, E. História Ambiental do(s) Agreste(s) de Pernambuco: As ações humanas no ambiente natural sob a ótica dos indígenas e dos estudos acadêmicos (Séculos XIX - XX). **Revista Catarinense de História**, Florianópolis, n. 23, p. 99-125, 2014.

MORALES, D. **Plano de Recuperação de Áreas Degradadas**. Destinatário: Paulo Santos Silva [S.I.] 20 jun. 2014. 1 mensagem eletrônica.

NENADIC, O.; GREENACRE, M. Computation of Multiple Correspondence Analysis, with code in R. **Economics Working Papers**, 2005. Disponível em: <https://ideas.repec.org/p/upf/upfgen/887.html>. Acesso em: 11 Jun 2018.

NEVES, G. C.; ANDRAOS, L. V.; BASTOS, R. R. Análise Geométrica de Dados Através do Enfoque Estatístico de Análise de Correspondência. **Revista da Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto**, Ouro Preto, v. 2, p. 9, 2012. ISSN 2237-8111.

NUBIO/PE. PAR. 000519/ PE/NUFLORA/IBAMA, de 05 de setembro de 2013. **Superintendência do Ibama no Estado de Pernambuco**. Relatores: Eduardo Fernando Sobral da Costa. 2013.

NUBIO/PE. PAR. 02019.000032/2016-15 NBFLO/PE/IBAMA, de 14 de abril de 2016. **Superintendência do Ibama no estado de Pernambuco**. Relatores: Felipe Pinto Guimarães, Maria Sinhá Mendes Batista. 2016.

ORTIZ, P. R. T. **Monitoramento de um reflorestamento com alta diversidade de espécies nativas, sob três condições de adensamento de mudas, no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo/SP**. Dissertação (Mestre em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) - Instituto de Botânica da Secretaria de Meio Ambiente. São Paulo, p. 54. 2017.

PROJETO MAPBIOMAS. – **Coleção 3.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**, 2018. Disponível em: <[www.mapbiomas.org](http://www.mapbiomas.org)>. Acesso em: 08 set 2018.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: **R Foundation for Statistical Computing**, 2019. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>.

RESENDE, L. A.; PINTO, L. V. A. Emergência e desenvolvimento de espécies nativas em área degradada por disposição de resíduos sólidos urbanos. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 5, n. 1, p. 37-48, 2013.

RIEGELHAUPT, E. M.; PAREYN, F. G. C. A questão energética e o manejo florestal da Caatinga. In: **SFB Uso sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga**. Brasília: [s.n.], 2010. p. 65-75. ISBN 978-85-63269-04-1.

RIGUEIRA, D. M. G.; NETO, E. M. Monitoramento: uma proposta integrada para avaliação do sucesso em projetos de restauração ecológica em áreas florestais brasileiras. **Revista Caititu**, Salvador, v. 1, p. 73-88, 2013.

RODRIGUES, P. C. G. et al. Ecologia dos Brejos de Altitude do agreste pernambucano. **Revista de Geografia**, Recife, v. 5, n. 3, p. 20-34, 2008.

SILVA, A. D. P.; RESENDE, A. S. D. **Manual para recuperação de áreas degradadas por extração de piçarra na Caatinga**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2010. 78 p. ISBN 978-85-85921-12-5.

SILVA, A. R. D. **Métodos de Análise Multivariada em R**. Piracicaba: FEALQ, 2016. 167 p. ISBN 978-85-7133-083-2.

SUGANUMA, M. S.; DURIGAN, G. Indicators of restoration success in riparian tropical forests using multiple reference ecosystems. **Restoration Ecology**, v. 23, n. 3, p. 238-251, 2015.

TABARELLI, M. Brejos ameaçados de desaparecer. [10 de junho de 2001]. **Recife: Jornal do Comércio**. Entrevista concedida a Verônica Falcão. Disponível em: <http://www.apoena.org.br/artigos-detalle.php?cod=191>. Acesso em: 10 ago. 2018.

TABARELLI, M.; SANTOS, M. M. A. Uma breve descrição sobre a história natural dos brejos nordestinos. In: PORTO, K. C.; CABRAL, J. J. P.; TABARELLI, M. **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 111-122.

TÖRMÄKANGAS, T. **Contingency Coefficient**. 2014. Disponível em: <http://users.jyu.fi/~tatima/TER/ContCoef.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2019.

UEHARA, T. H. K.; GANDARA, F. B. Monitoramento de áreas em recuperação: subsídios à seleção de indicadores para avaliar o sucesso da restauração ecológica. In: \_\_\_\_\_ **Cadernos da Mata Ciliar**. São Paulo: SMA, 2011. Cap. 4. ISBN 1981-6235.

VALENTIN, J. L. Análise fatorial de correspondência. In: \_\_\_\_\_ **Ecologia numérica: uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2000. p. 94-97. ISBN 85-7193-032-5.

VIANI, R. A. G. et al. Protocol for Monitoring Tropical Forest Restoration: Perspectives From the Atlantic Forest Restoration Pact in Brazil. **Tropical Conservation Science**, v. 10, p. 1-8, 2016.